

高バーリング型 590 MPa 級および 780 MPa 級 熱延原板合金化溶融亜鉛めっき鋼板の開発

林 邦夫¹⁾ 小川登志男³⁾ 田中博之³⁾
松谷直樹⁴⁾ 後藤貢一²⁾

1. 緒 言

北米・欧州における CO₂ 排出規制強化や、日本国内での省エネ法による燃費規制強化等、環境対策規制が強化されると同時に、世界各国での衝突安全規制強化に対応すべく、自動車メーカー各社ではこれら相反する性能を満足するため、自動車用鋼材の高強度化(ハイテン化)を急速に進展させている。

自動車用鋼板のハイテン化は、ボデー部品が先行しており、1470 MPa 級のホットスタンプ鋼板¹⁾の適用も拡大している。一方、重要保安部品の多いシャシー部品においては、必ずしもハイテン化が順調に進んでいるとは言えない。その理由の一つとして、ボデー部品に比べシャシー部品は、使用環境が厳しい事が挙げられる。ロアアームやシャシーフレーム等の部品は、走行時の荷重入力が大きく、概して板厚の厚い熱延鋼板(HR)が用いられる。このような厚肉鋼板の溶接には、主にアーク溶接が用いられる。ボデー部品に用いられるスポット溶接に比べ、アーク溶接は入熱量が大きい事から、高い耐 HAZ 軟化特性が要求され、一般に析出強化型熱延鋼板²⁾が用いられる。

ハイテン化の目的が軽量化(薄肉化)と衝突安全性の両立にある限り、ハイテン化に伴い劣化する成形性、耐 HAZ 軟化特性、疲労特性の改善が必要となるだけでなく、優れた耐食性が必要となる。これはシャシー部品が厳しい腐食環境に晒されるためであり、ハイテン化による薄肉化は、腐食減肉余

裕代の減少を意味するからである。一部の限られた箇所においては、防錆性を有するワックスやシーラーの塗布を行っているが³⁾、製造コストや生産性の観点から好ましいとは言い難い。また、一般に疲労強度は鋼板強度と共に向上するが、680 MPa 以上の引張強度では、その効果は飽和すると言われている⁴⁾。これは、断続的に応力を受けるシャシー部品においては、ハイテン化の一つの壁であった。

上記背景の下、将来に渡る自動車産業の発展のため、シャシー部品に必要な特性を満たすべく、疲労特性に優れた高バーリング型 590 MPa 級および 780 MPa 級熱延原板合金化溶融亜鉛めっき鋼板(HR-GA)を、世界で初めて実用化した。

2. 開発コンセプト

一般に、ハイテンは他の一般鋼種とは、成分や熱処理条件が異なる。この相違は、製造コストの増加を招くだけでなく、特殊元素による合金コストの増加、生産性の低下による CO₂ 排出量の増加も起こりうる。このような視点から、以下の 2 点を開発コンセプトとした。

(1) 低合金コスト：特殊元素の無添加

一般的に自動車用鋼板に使用される代表的な特殊元素として、Ti, Nb, Mo, V, Cr 等が挙げられる。中でも Mo, V は、合金コストが高いとされる代表的な元素である。そこで本開発鋼では、これらの特殊元素(Mo, V)を無添加として合金コストの大幅な上昇を抑制した。

(2) 低環境負荷：連続生産設備における生産性

HR-GA の主なマイクロ組織制御工程は、図 1 に模式的に示す(a)熱間圧延と(c)溶融亜鉛めっき(CGL)の 2 工程である。この 2 つの工程の大きな相違点として、熱間圧延は鋼種毎に水冷条件を変更する事により、瞬時に温度を変更できる。すなわち、鋼種毎に自由に熱処理条件を変更する事が可能である。これに対し、CGL では熱慣性の大きな焼鈍炉を使用するため、鋼種毎に熱処理温度条件を変更する事は容易

* 新日鐵住金株式会社

1) 本社：人事労政部主幹

2) インド C.A.P.L. プロジェクト主幹

名古屋製鐵所：3) 品質管理部薄板管理室

4) 品質管理部薄板管理室主査

Development of Hot Dip Galvanized 590-780 MPa Grade Steel Sheets with Excellent Hall-expand Ratio.; Kunio Hayashi, Toshio Ogawa, Hiroyuki Tanaka, Naoki Matsutani, Kohichi Gotoh (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION)

2012年10月25日受理

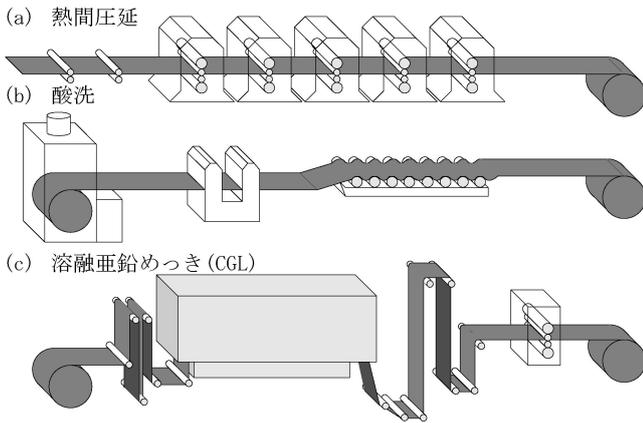


図1 熱延原板合金化溶融亜鉛めっき鋼板(HR-GA)の製鋼工程以降の製造工程(模式図)。

では無い。例えば、最高加熱温度が一般鋼種と異なる鋼板を製造する場合、温度変更→製造→温度回復にかなりの時間を要する。すなわちこのCGLでの生産性の低下は、生産機会損失によるコスト増加だけでなく、生産重量当たりのCO₂排出量の増加を意味する。そこで、低環境負荷での生産を可能とするため、一般鋼種と同等のCGL熱処理条件となる様に開発を行った。

3. 析出強化型熱延鋼板のGA化に際する課題

(1) Siによる亜鉛めっき性の劣化

Siは、固溶強化元素として広く利用されており、疲労特性や加工性の改善にも有効とされている。これは、複合組織鋼において固溶Siによりフェライトが強化され、硬質相(例えばマルテンサイト)との強度差が低減し、疲労特性と加工性が向上すると考えられている⁽⁵⁾。またSiは、加工性に不利となるセメンタイト(パーライト)の生成を抑制する効果もあり、同様の効果を持つMo、Vを添加しない本開発鋼では、積極的に活用したい元素の一つである。

一方、Siは亜鉛めっき性を阻害する代表的な元素でもある⁽⁶⁾。これは、易酸化性元素であるSiが鋼板表面に濃縮し、表面に生成した酸化物が溶融亜鉛の濡れ性を阻害するだけでなく、その後のめっき層の合金化も遅延させるためである⁽⁷⁾。

(2) 合金炭化物およびセメンタイトの微細化

低環境負荷を目的に、一般鋼種と同様の650~750℃の温度域で析出強化鋼をCGLで熱処理した場合、合金炭化物とセメンタイトの熱的安定性が重要な因子となる。即ち、この様な高温においても安定的に鋼板強度を保ち、更に加工性に有害なセメンタイトの粗大化を防ぐ必要がある。合金炭化物の安定性を改善する元素として、MoとTiの複合添加が報告されている⁽⁸⁾。更にMoは穴広げ性に有害な粗大なセメンタイト(パーライト)の生成を回避できる元素の一つであるが、前述の様にMoは高価な元素である為、本開発においては添加しないこととした。

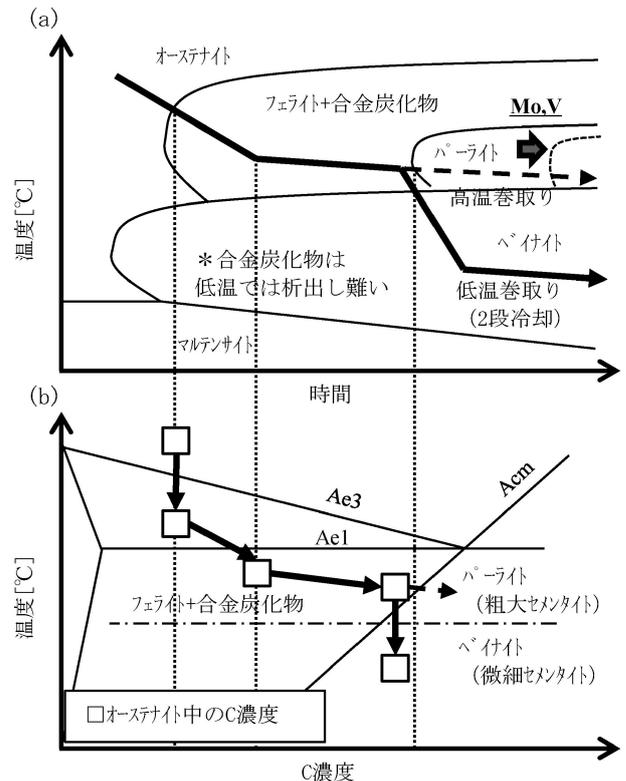


図2 ROT2段冷却中の相変態と合金炭化物およびセメンタイトの析出挙動(模式図)。

4. GA化と加工性の両立

開発鋼の代表的な必要特性として、加工性(引張延性および穴広げ性)が挙げられる。加工性は鋼材の成分および熱履歴により決まり、独立に制御できるものではない。加工性と前述の開発コンセプトを満たしつつ、GA化に対する課題を解決するため複合組織と析出強化の組み合わせによる加工性向上を図ることとした。

通常の析出強化型熱延鋼板では、熱間圧延工程のRun Out Table(ROT)での水冷中と巻き取り後に、相変態と炭化物の析出が起こる。この場合、図2に示すように、フェライト変態と合金炭化物の析出が起こる温度域にて巻き取る(高温巻き取り)と、オーステナイト中に濃化した炭素がA_{cm}以上の濃度となりパーライト変態が起こる。パーライトは、鋼板の加工性を著しく損ねる事から、その存在は好ましくない。これに対し、Mo、V等の添加によりパーライト変態を遅延させる手段⁽⁸⁾が挙げられるが、本開発鋼のコンセプトに反するため利用できない。しかし、加工性の指標の一つである延性に着目すると、ベイナイト単相組織より析出強化フェライトの方が優れている。

そこで上記課題を解決するため図2に示すように、パーライト変態の起こる前に鋼板を急冷し、炭素の濃化したオーステナイトを硬質相であるベイナイト組織に変態させる組織制御を行った。これにより、パーライト組織中に含まれるような粗大なセメンタイトを回避しつつ、組織間の硬度差に起因した複合組織化による穴広げ性の劣化を回避するため、CGL焼鈍後の析出強化フェライトとベイナイトの強度差が

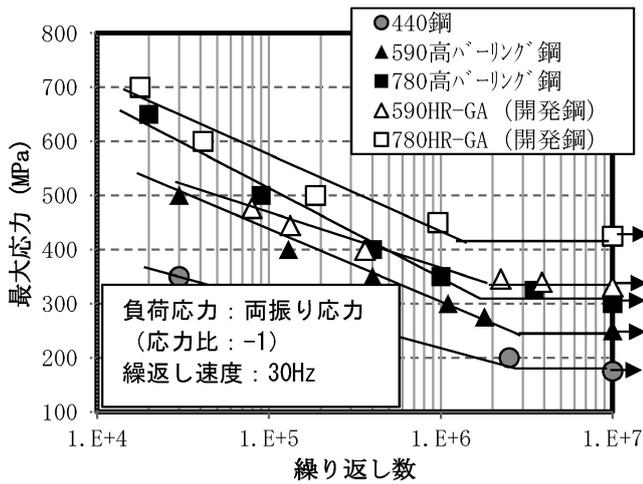


図3 開発鋼および比較鋼の平面曲げ疲労特性。

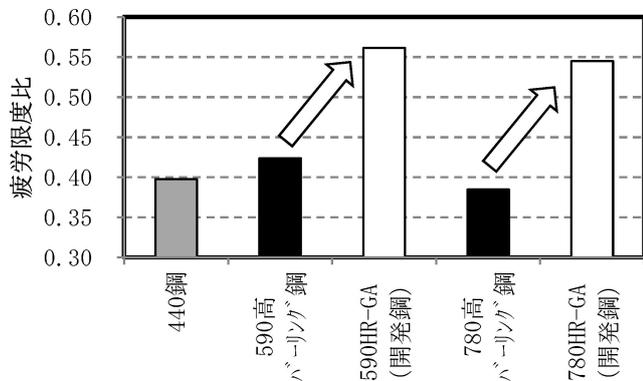


図4 開発鋼および比較鋼の疲労限度比の比較。

小さくなる温度履歴と成分を選択した。

このように、巻き取り温度をベイナイト変態温度域とする事により、巻き取り後の合金炭化物の粗大化を回避し、その後のCGLでの熱処理で課題であった合金炭化物の粗大化による強度低下を回避することが可能となった。

5. 開発鋼の特性

(1) 亜鉛めっき性

亜鉛めっき性の評価は、JIS H 0401に準拠して行った。鋼板を曲げ試験により、曲げた部分のめっき被膜の表面状態を目視にて評価した。この結果、低Si化による亜鉛めっき性改善効果により、良好な亜鉛めっき密着性を示した。

(2) 疲労特性

図3および4に示すように、疲労特性の評価は、完全両振りのJIS Z 2275に準拠し、シェンク式平面曲げ疲労試験機で評価した。このときの応力荷重は、両振りでの試験の速度は30 Hzとした。また疲労強度比は前述の説明に従い、平面曲げ疲労試験により 10^7 サイクルでの疲労強度を、引張試験により測定される引張強度で除した値とした。

開発鋼は、同強度の熱延高バーリング鋼板に比べ、全サイ

表1 高バーリングHR-GAおよびHRの材質の比較。

強度	鋼種	TS(MPa)	El.(%)	λ (%)
590 MPa	HR-GA(開発鋼)	628	28	151
	HR(従来鋼)	630	28	138
780 MPa	HR-GA(開発鋼)	802	19	98
	HR(従来鋼) ⁽²⁾	794	21	96

TS：引張強度 El：全伸び λ ：穴広げ率

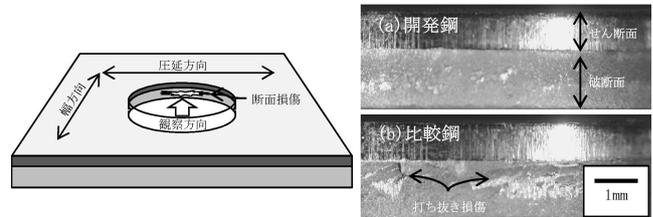


図5 開発鋼および比較鋼のせん断後の断面観察。

クル域で疲労強度に優れる事が解る。また、疲労限度比を比較すると、本開発鋼の組織制御は、大幅に疲労限度比を改善する方法である事が示された。

(3) 加工性

引張試験および穴広げ試験結果を表1に示す。熱延高バーリング鋼板と遜色ない加工性を有する事が解る。また、打ち抜きまたはせん断加工時に課題となる断面損傷に対する感受性も調査した。穴径 $\phi 10$ mm、クリアランス10%、板厚2.3 mmの条件で行った(図5)。不適切な成分・製造条件においては、(b)の様断面損傷が発生するのに対し、本開発鋼においては健全な断面を呈している事が確認できる。

6. 実用例・将来性

本開発鋼は、2009年から(780 MPa級)がシャシーフレーム部品へ適用されており、年換算5000 t/yの製造実績がある。今後、ロアアーム等への部品展開により、更なる需要拡大が期待される。また、本件に関わる基本特許として特許4772927が既に登録されており、その他、特願2012-032591など出願している。また、これらの特許を国外へも申請中である。

文 献

- (1) 末広正芳ら：新日鐵技報, 378(2003), 15-20.
- (2) 岡本 力, 麻生敏光, 岡田浩幸：まてりあ, 51(2012), 28-30.
- (3) 重永 勉ら：マツダ技報, 24(2006), 200-204.
- (4) 岩崎紀夫ら：日本鋼管技報, 91(1981), 359-370.
- (5) 水正正也ら：材料, 38(1989), 589-595.
- (6) 広瀬祐輔, 戸川 博, 住谷次郎：鉄と鋼, 68(1982), 665-672.
- (7) 西村一実, 小田島壽男, 岸田宏司, 織田昌彦：鉄と鋼, 79(1993), 590-596.
- (8) 船川義正, 瀬戸一洋：鉄と鋼, 93(2007), 49-56.