

技術報告

Si-Mn 系熱延まま Dual Phase 鋼板の製造

花井 諭*・渡辺 國男*²・江坂 一彬*²

The Manufacture of Si-Mn As-hot-rolled Dual Phase Steel Sheets

Satoshi HANAI, Kunio WATANABE, and Kazuyoshi ESAKA

Synopsis:

The Si-Mn steels have been hot-rolled and coiled at the very low temperature after rapid cooling in runout table of hot strip mills to produce as-hot-rolled dual phase (AHR DP) steel sheets which prove to be both economical and excellent in quality. The results obtained are as follows:

(1) The strengthening effect of carbon is very large but ductility does not decrease so much by increasing carbon content as to deteriorate the good strength-ductility combination.

(2) The Si addition of a higher content raises the critical coiling temperature under which DP steel can be obtained and it improves much the strength-ductility combination.

(3) The coiling temperature is the most important factor affecting strength and elongation of AHR DP steel and its appropriate range depends on the controlling capacity of cooling and the quality level of materials.

(4) Variations of mechanical properties within a coil as well as throughout coils can be minimized by the control of chemical composition and rolling condition, and especially by the use of continuously-casted steel.

(5) When compared to conventional high strength low alloy steels, the hot-rolled DP steel shows a smaller planar anisotropy of properties and larger work- and bake-hardenability; the Si-Mn AHR DP steel, on the other hand, has a better combination of strength and ductility than the heat treated DP steel.

(6) Performances of Si-Mn AHR DP steel sheets are good especially in hole expansion property and stretchability.

1. 結 言

熱延 Dual Phase (以下 DP と略す) 鋼板には大別して二種の製造方法があることはよく知られている。一つは通常の工程で製造された熱延コイルを熱処理する方法である。歴史的には一早く開発されたこの熱処理型 DP 鋼板はその優れた加工性に注目を集めた¹⁾²⁾。しかし、この方法には設備上の制約(熱延ハイテンは板厚、強度が冷延ハイテンより大)、工程増によるコスト上昇の問題がある。もう一つの方法は熱延ままで DP 鋼板を製造する方法であり、さらに①高 Si-Mn 鋼をベースに Cr-Mo³⁾⁴⁾、Cr⁵⁾ を比較的多く添加することにより、通常の巻き取り温度(CCT 上の Cooling window と称する準安定オーステナイト域に対応)で巻き取り冷却して DP 鋼板を得る成分依存または緩冷型、②通常 Mn, Si-Mn 鋼に対して熱延中または後の冷却過程でフェライト(α)とオーステナイト(γ)を分離、Ms 点以下に急冷することにより DP 鋼板を得るプロセス依存または急冷型に

区分できる^{6)~10)}。

われわれは技術的には未経験であるが急冷型熱延まま DP 鋼板の製造がコスト的に最も有利になるであろうと判断した。この方法の Si-Mn 系鋼への適用ではまず低 Si 系において室内・実機圧延実験により DP 鋼を製造し得ることを示した⁹⁾。さらに、Si 量の増加が強度-延性バランスの向上、適正巻き取り温度範囲を拡げるのに有効であることを明らかにした¹⁰⁾。

本報告はこれらの基本的な知見に基づいて試験を重ね開発した Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板について、実機ミル試験データによる製造条件の検討結果と本製造鋼板の特徴、使用性能についてまとめたものである。なお本報告の開発試験は実生産に使用する三機の圧延機の特性、冷却設備・能力の差を考慮して実施された。

2. Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板の製造条件

Table 1 に示す条件の範囲で製造された 54 コイルから試料を採取し DP 鋼板の引張試験値と製造条件の関係

昭和 54 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 56 年 10 月 14 日受付 (Received Oct. 14, 1981)

* 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 工博 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp.)

*² 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp., 1 Chikkoyawata-cho Sakai 590)

*³ 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. The tested range of manufacturing conditions for Si-Mn as-hot-rolled DP steel sheets.

Chemical compositions(wt%)						Thickness (mm)	Hot rolling conditions(°C)	
C	Si	Mn	S	Cr	REM		FT	CT
0.06	0.25	1.1	0.003	0	0	2.0, 2.47	725	<100
~	~	~	~	~	~	2.6, 2.9	~	~
0.13	1.33	1.45	0.006	0.3	0.02	3.2, 3.31	885	550

Table 2. Multiple regression analysis for tensile properties of Si-Mn as-hot-rolled DP steel sheets.

Multiple regression equations(n=101)	F values	Multiple regression coefficient
TS(kg/mm ²)=42.7+13.7·Si(%) +243·C(%)−0.281·CT(°C)	62.8	0.746
YR(%)=60.9+0.0240·FT(°C) −8.74·Mn(%)−43.0·C(%)	5.53	0.458
TEI(%)=41.7−129·C(%)−3.39·Si(%) +0.00924·CT(°C)	12.8	0.560

を検討した。板厚 (2.6 mm 基準) および試験片サイズ (JIS 5 号試験片を標準としたが一部 ASTM 試験片も使用した) による全伸び (TEI) の補正は指数 0.2 の Oliver の式 ($\epsilon \propto A^{0.2}$, ϵ : 伸び値, A : 断面積) を用いて行つた。DP 鋼の判定基準は降伏比 (YR) < 70%, 降伏点伸び (YPEI) < 0.5% としたが, これは DP 鋼として不完全な範囲まで拡げて条件を検討するためである。

以上の条件で選んだ DP 鋼板の引張強さ (TS), YR, TEI と C, Si, Mn, 仕上げ温度 (FT), 巻き取り温度 (CT) の間で行つた重回帰分析結果を Table 2 に示す。この中 TS に対する回帰式は高度に有意な式になつているのに対し, TEI, YR の順に信頼度は低下する。特に YR は要因として取り上げていないスキンプス圧下率の影響もあり, ばらつきが大きくなつたと考えられる。

以下, 成分・熱延条件の各々について DP 鋼板材質におよぼす影響を述べる。

2.1 成分の影響

2.1.1 C

Table 2 の回帰式における TS に対する C の寄与は約 2.4 kg/mm²/0.01% であり, 圧延ままフェライト-パーライト鋼への寄与 ~0.9 kg/mm²/0.01%¹¹⁾ に比べてはるかに大きい。これは DP 鋼における C の強化作用が第二相のマルテンサイト (α') の体積率・硬さの両方に影響するからである¹²⁾。一方 YR 低下に対する C の影響は本試験範囲でそれほど大きくなかつた。TEI は C 増加につれて減少するが, この変化は強度上昇に伴うもので Fig. 1 から明らかなように強度-延性バランスが劣化するわけではない。

2.1.2 Si

DP 鋼板において Si は C 排出による α の純化, γ 中

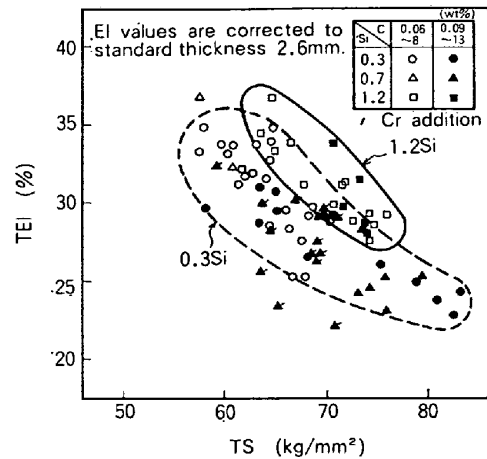


Fig. 1. Strength-ductility relationship of Si-Mn as-hot-rolled DP steel sheets.

への C の濃縮という¹³⁾好ましい効果をもつ。TS に対する寄与は従来鋼への固溶強化 8~14 kg/mm²/0.01%¹¹⁾¹⁴⁾ に対し, 上限程度の値になつている。しかし, Si 量増加のより大きな効果は強度-延性バランスの改善にあり, このことは Fig. 1 における高 Si-と低 Si-Mn 系 DP 鋼板の比較から明らかである。Si の延性改善作用は通常の固溶強化鋼においてもみられるが, Si-Mn 系 DP 鋼において効果が特に顕著なのは α の純化作用によるものであろう¹⁵⁾。また, Si 量増加により最適 FT の範囲が拡大することは実機製造上有利な点である¹⁶⁾。

2.1.3 Mn

周知のとおり焼入性を高めるため必須の元素である。試験範囲における変動幅は大きくないが, YR 低下への寄与がみられる。

2.1.4 Cr

Si-Mn 鋼¹⁶⁾における Cr 添加効果として 0.3% 程度の量でも巻き取り条件緩和 (DP 化限界 CT の上昇) が確認されたが, 強度-延性バランスは改善されない。一方, Cr 添加による降伏比低下は Mn と同様に知られているが, 本試験の回帰式では認められなかつた。

2.2 熱延条件の影響

プロセス依存型の熱延まま DP 鋼板製造上従来工程と決定的に異なる点は熱延後巻き取りまでにマルテンサイト変態を終了させ, 焼もどしによる材質劣化をもたらさないように低温で巻き取る点にある。この低温巻き取りは熱延まま DP 鋼板の経済的な製造法開発のため初めて実施された。初期段階で経験したコイルおよび鋼板形状, 冷却精度に関する問題は作業の熟練・設備改造などで解決された。

2.2.1 熱延仕上げ温度

熱延まま DP 鋼板の材質におよぼす FT の影響につい

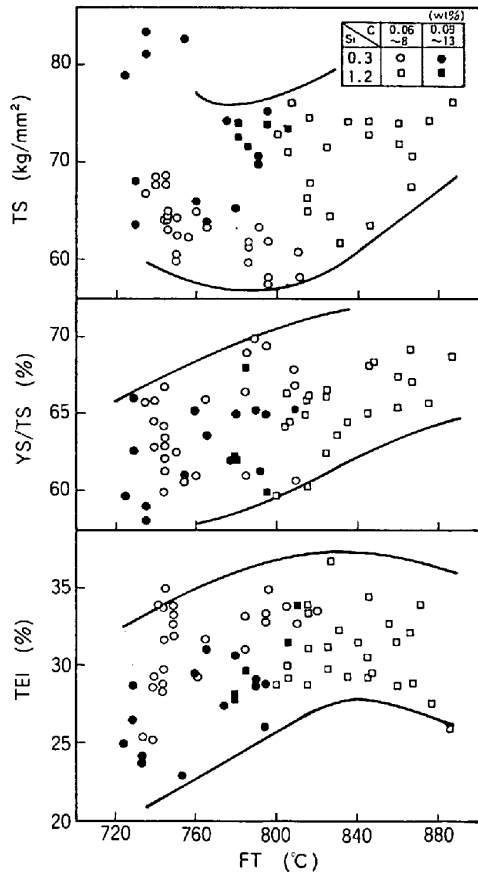


Fig. 2. Relationship between finishing temperature and tensile properties of Si-Mn as-hot-rolled steel sheets.

て、室内実験により最適値は静的な A_{r3} 点近傍にあること⁷⁾、Si 増加により最適 FT 範囲が高温側に拡がること¹⁷⁾¹⁸⁾が報告されている。しかし、最適 FT は他の圧延条件（圧下率、圧延速度など）によつても大きく変化し、さらに圧延後の冷却条件、鋼成分にも関係するので一般に最適範囲を決定することは困難である。FT と引張試験値の関係を Fig. 2 に示す。TS はある FT で極小、TEI は極大をとる傾向がみられる。一方、YR は FT とともに上昇する（重回帰式中にも有意な要因として取り入れられている）、YR に対する影響は FT が高くなると α の析出が遅れて DP 化しにくくなるのが原因と考えられる。ここで重要なことは TEI に対する影響であり、低 FT での延性低下に α' の形態変化が関係する。すなわち γ の末再結晶域で加工された延伸 γ から変態した圧延方向に長い α' が延性を阻害する。さらに FT が低下すると α 中の加工転位の回復組織形成に伴う YS 上昇、延性低下がみられる。

2.2.2 巻き取り温度

0.3 および 1.2%Si-Mn 鋼の引張試験値と CT の関係を Fig. 3 に示す。この図には先にも述べた DP 鋼の

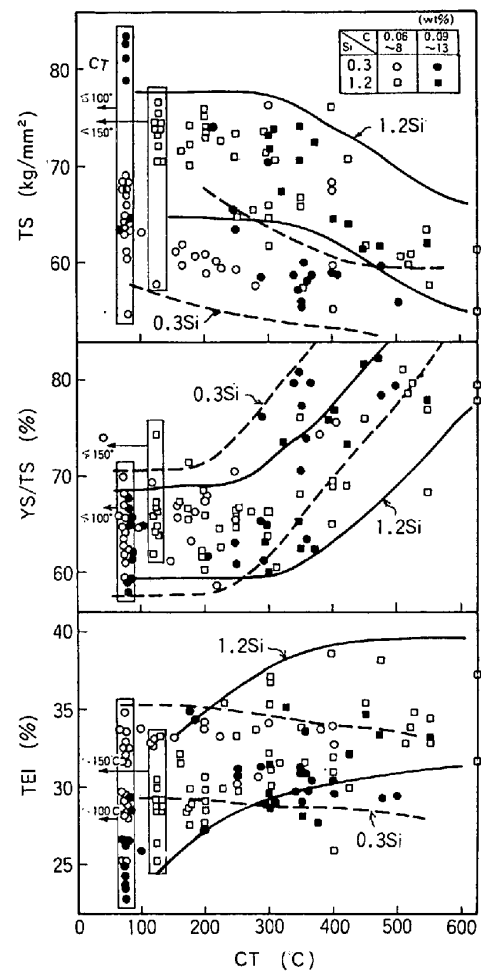


Fig. 3. Relations between coiling temperature and tensile properties of Si-Mn as-hot-rolled steel sheets.

条件を満さないデータも含めている。TS は CT 低下により上昇するが、1.2%Si 鋼は 300°C 以下で高くなり始め、200°C 以下で飽和するのに対し、0.3%Si 鋼は 200°C 以下の CT でも上昇傾向が続く。DP 化する CT 範囲におよぼす Si の影響は YR に対する関係から明らかなように Si 量により異なり、0.3%Si 鋼では約 200°C、1.2%Si 鋼では 300°C 以下の CT で DP 化する。

延性に対する CT の影響も Si 量により異なり、0.3%Si 鋼では CT 低下につれて若干上昇傾向にあるのに対し、1.2%Si は CT が高い方が TEI が上昇する。しかし、延性改善は強度の低下を伴い、大きな CT 変動は材質のばらつきを招くので最適 CT 範囲は工程能力、鋼成分、要求材質レベルにより決まる。

2.2.3 冷却条件

Si-Mn 系 DP 鋼板の材質を決定する主要製造要因が CT であることは以上で明らかであるが、仕上げ圧延後のランアウトテーブル上の冷却開始位置の材質におよぼ

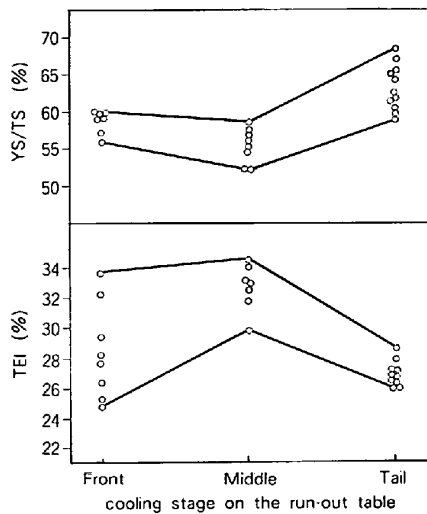


Fig. 4. Relations between water cooling stage on the run-out table and tensile properties of 0.075% C-0.8% Si-1.2% Mn as-hot-rolled DP steel sheets.

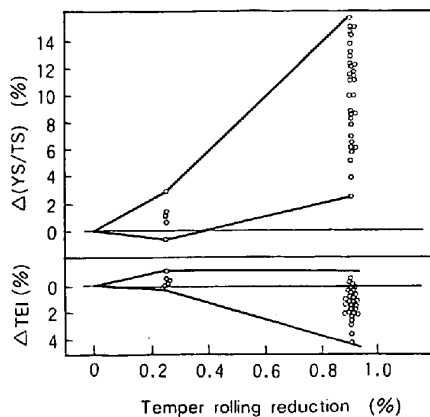


Fig. 5. Change in tensile properties due to temper rolling for Si-Mn as-hot-rolled DP steel sheets.

す影響も重要である。Fig. 4 は 0.75% C-0.8% Si-1.2% Mn 鋼における冷却開始位置と YR, TEI の関係を示すもので、中段注水の場合に YR, TEI が安定して良好であることがわかる。

2.3 形状矯正の影響

DP 鋼の特徴である YR が低いこと、初期の加工硬化が大きいことはわずかな加工により降伏点が上昇することを意味している。Fig. 5 はスキンプラスによる材質変化の一例を示す。 $\Delta(YS/TS)$, ΔTEI はそれぞれスキンプラスによる YR, TEI の変化量を示す。これから 0.5% 程度以上のスキンプラスによる形状矯正を必要とする場合はかなりの YS 上昇, TEI の低下があまり好ましくない。これへの対策として素材鋼板の形状改善、レベラーによる矯正 (同じ矯正能力で YS の上昇を 2 kg/mm² 前後に抑えることが可能) がある。

2.4 コイル内・コイル間の材質変動

熱延まま DP 鋼板製造における最大の問題の一つにコイル内・コイル間の材質均一性をいかに確保するかがある。材質変動を小さくするためには影響の大きい製造要因の変動を小さくすればよいことは言うまでもない。コイル内の成分変動の点から連铸材が造塊材に比べて優れていることは 0.06% C-1.3% Si-1.5% Mn 鋼について両者のコイル長さ・幅方向の引張試験値の分布調査例 Fig. 6 から明らかである。また CT の変動との関係から Si 量が高める方が強度変動を抑制しやすいと言える。

Table 3 は 60 kgf/mm² 級鋼板 (TS 63 kg/mm² くらい) の引張試験値の平均と標準偏差を 48 コイル (連铸材) の全長・全幅の試験値から計算した結果である。化学成分・熱延条件の厳しい管理により、製品の変動幅は極めて小さく、コイル内・コイル間共によく管理された材質レベルを示している。

3. Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板の材質上の特徴

3.1 析出強化鋼との比較

3.1.1 調査方法

供試鋼は適正な熱延条件で製造された Si-Mn 系熱延まま DP 鋼、比較材は Mn-Cr 系熱延まま DP 鋼, Nb 系析出強化鋼とした。化学成分を Table 4 に示す。材質異方性は圧延 (L) および圧延直角 (T) 方向の引張試験 (JIS 5 号試験片) で調査し、加工硬化性 (WH) および焼付硬化性 (BH) は各供試材に 1~10% の引張歪みを加えた後、オイルバスにて 140~200°C で 20 min

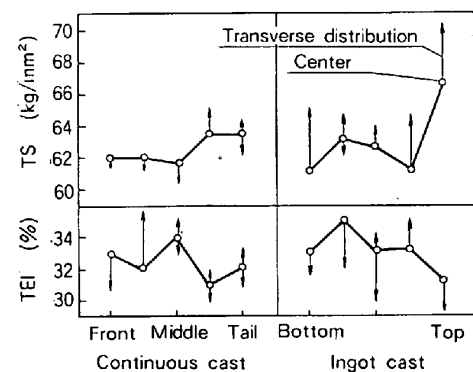


Fig. 6 Variation of longitudinal tensile properties in a coil (0.06% C-1.3% Si-1.5% Mn steel).

Table 3. Average and standard deviation of longitudinal tensile properties of Si-Mn as-hot-rolled DP steel (N=48).

	YP(kg/mm ²)	TS(kg/mm ²)	El(%)
x	42.2	62.4	32.7
σ	1.55	1.33	1.73

Table 4. Chemical composition of testing steel. (Ladle analysis : wt%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Nb
A Mn-Cr DP	0.07	0.03	1.60	0.015	0.008	0.067	0.32	—
B Si-Mn DP	0.05	1.14	1.46	0.017	0.004	0.047	—	—
C HSLA	0.09	0.30	1.42	0.014	0.008	0.023	—	0.033

保持の熱処理を行い調査した。WH は各引張歪みに対応する変形応力 σ_1 と YS の差で、BH は熱処理後の鋼板の YS と σ_1 の差で評価した。

3.1.2 結果および考察

(1) 材質の異方性

TS, TEI の L, T 方向の差は Si-Mn および Mn-Cr 系 DP 鋼ではほとんど認められないのに対し、析出強化鋼では L 方向に比べ T 方向で TS は約 2 kg/mm² 高く、TEI は約 2% 低下する。析出強化鋼で材質異方性が大きいのは Nb により γ の再結晶温度が上昇し、 γ 未再結晶域での圧延が加わったため生じた集合組織の影響であるのに対し、DP 鋼はポリゴナルな α 地に α' 主体の変態相が均一分散した組織になっている結果と考えられる。

(2) 加工硬化性と焼付硬化性

WH および BH (170°C × 20 min) におよぼす歪みの影響を Fig. 7 に示す。DP 鋼の WH は歪み 3% で約 13 kg/mm², 10% で約 20 kg/mm² であり、析出強化鋼の WH の約 2 倍である。BH における析出強化鋼と DP 鋼の差は WH におけるよりさらに顕著である。析出強化鋼では BH が 0 であるのに対し、Mn-Cr 系 DP 鋼では 5~8 kg/mm², Si-Mn 系 DP 鋼では 7~10 kg/mm² の大きな BH をもつ。

焼付硬化現象は鋼板を需要家で加工後、170°C で 20 min 前後の焼付塗装を行つた場合に YS が上昇する高温歪時効である。DP 鋼板が大きな BH を有する理由は高温からの急冷と極低温巻き取りプロセスによる過飽和固溶 C, N の存在¹⁹⁾ と高い転位密度にあると考えられる。

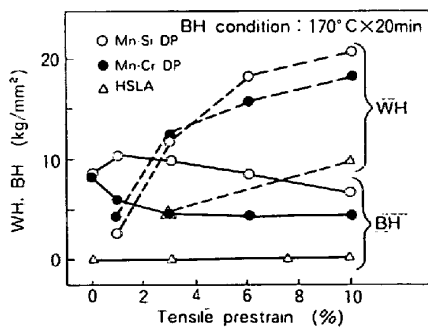


Fig. 7. Effects of prestrains on work- and bake-hardening properties of various high strength steels.

3.2 熱処理型 DP 鋼板との比較

3.2.1 調査方法

供試材はチャージの異なる 3 種の Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板と 6 種の熱処理型熱延 DP 鋼板である。化学成分を Table 5 に示す。これらの鋼板の引張試験、ミクロ組織の光学・電子顕微鏡観察を行い材質を比較した。

3.2.2 結果および考察

熱延 DP 鋼板の YS と TEI の TS に対する変化を Fig. 8 に示す。熱延まま DP 鋼板は熱処理型 DP 鋼板に比べて降伏比は高く、強度-延性バランスは優れている。ここで、熱処理型 DP 鋼板の中、Ac₃ 近傍の温度で加熱された試料 J (その他は ($\alpha + \gamma$) 域加熱) の YR が高いことが注目される。

熱延ままおよび熱処理型 DP 鋼板の機械的性質の差は

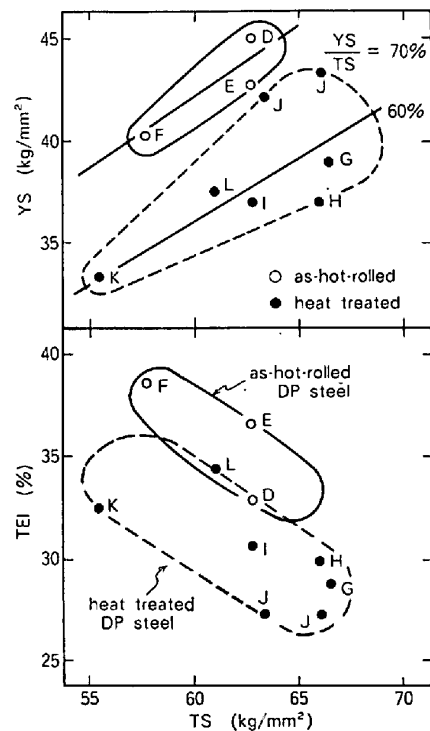
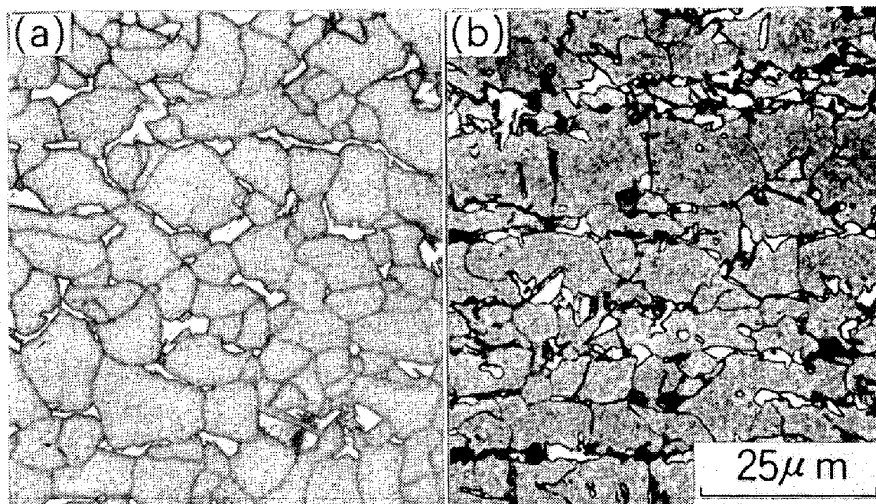


Fig. 8. Strength-ductility relationship of hot-rolled DP steel sheets.

Table 5. Chemical composition on testing steels.

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	V
D As-hot-rolled DP	0.049	1.21	1.45	0.017	0.005	0.047	0.075
E	0.050	1.20	1.39	0.011	0.003	0.040	—
F	0.050	1.30	1.52	0.023	0.001	0.052	—
G Heat treated DP	0.124	0.44	1.44	0.012	0.003	0.034	0.075
H	0.101	0.64	1.70	0.018	0.009	0.071	0.064
I	0.140	0.51	1.29	0.006	0.006	0.051	0.067
J	0.085	0.20	1.50	0.018	0.001	0.044	—
K	0.089	0.40	1.54	0.015	0.005	0.023	—
L	0.110	1.23	1.43	0.015	0.003	0.026	—



DP steel sheets : (a) Si-Mn as hot-rolled and (b) V bearing heat treated steel.

Photo. 1. Microstructures of hot-rolled

顕微鏡組織から次のように説明される (Photo. 1). ここで試料の腐食は 1% ピロ亜硫酸ソーダ水溶液と 4% ピクリン酸アルコール溶液の 1:1 (体積比) 混合液で行った. この腐食液を用いた場合, マルテンサイトは白色に, ベイナイトは黒色に, フェライトは灰色にみえる. 熱延ままおよび γ 域加熱熱処理型 DP 鋼板は熱延 (熱処理) 後の冷却中に α を析出した後の γ が α' に変態するため, α' は大きくまだらに分布する. その他の熱処理型 DP 鋼板は α とパーライト組織をもつ鋼板を Ac_1 点以上に加熱保持するため, γ 安定化元素が偏析しているパーライトおよび粒界近傍が選択的に γ 変態しその後の急冷によりこの部分が α' になる. このため, 熱処理型 DP 鋼ではほとんどすべての結晶粒界近傍に α' 変態に起因する歪みが導入される一方, 熱延まま DP 鋼では圧延後の冷却中に γ - α 間の合金元素の分配が十分行われなため, α 中の固溶元素が高くしたがって α の YS が相対的に高い. 以上の 2 つの理由で YR に差が生じるのであろう.

一方強度-延性バランスについては成分依存型熱延まま DP 鋼板の場合, 熱処理型に劣ることが報告されている⁹⁾. Fig. 8 の結果は Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板の Si 量が熱処理型より高いこと, 带状組織が存在しないことも影響しているであろうが成分依存型 DP 鋼と比較して Si, Mn 以外の合金元素がない分だけ α の延性が高くなつた効果の寄与が大きいと考えられる.

DP 鋼の TS, TEI は α' 体積率に依存し, 二相混合則に従っている. TS は成分系, 製造方法によらず α' 体積率のみでほぼ整理されるが, TEI は同一 α' 量でも Si の高い鋼の方が優れている. 一方, YR は α' 体積率では整理できない.

4. 使用性能

以上に述べた Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板は既に実用化されているが, 開発過程で成形性, 疲労特性, 化成処理性, フラッシュバット溶接性などの評価試験, 需要家での試験を行いおおむね従来鋼より良好または同等の結果が得られた. 特に本開発鋼の適用部品として重要な自動車ホイールへの適用は本号で別途詳細に報告されているので割愛し, ここでは二, 三の重要な特性の試験結果についてのみ述べる.

4.1 成形性

4.1.1 伸びフランジ性

多くの実際のプレス成形に際して重要な特性である伸びフランジ性では穴縁の局部伸び特性が重視される. これを支配する材料因子として熱延鋼板では TEI と介在物 (量・形態) がある. Fig. 9 に打ち抜きまま穴抜け

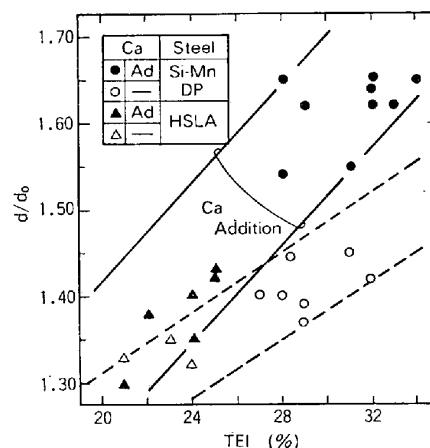


Fig. 9. Influence of total elongation and Ca addition on hole expansion ratio.

比におよぼす全伸びと Ca 添加の影響を示す。析出強化鋼においても Ca 添加の穴拡げ比改善はみられるが、TEI が大きい DP 鋼板の方がこの効果は著しく大きい。

4.1.2 実用成形性

張り出し性評価のためリヤーアクスルハウジングの実物成形試験を Table 4 の各鋼板, Table 5 の鋼板 K, L について行つた結果, n 値が高い Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板は SAPH 45 並みの優れた成形性を示した, 素板取り方法が成形限界に大きな影響をもつ本成形試験においては破断部の最大歪方向と材料の圧延方向を一致させることが有利となる。

4.2 疲労特性

実際の疲労特性は加工・溶接などが行われた部品で評価する必要があるが, 基礎となる母材の疲労特性を両振り平面曲げ試験でシェンク型疲労試験機を用い (最大繰返しモーメント ± 5 kgm, 繰返し速度 1800 rpm) 評価した結果, Si-Mn 系 DP 鋼板の S-N 線図は析出強化鋼のそれとほぼ同等になり, 疲労限度比は 0.48~0.50 であつた。これに対し Mn-Cr 系 DP 鋼板の疲労強度は前 2 鋼種に比べて劣っており 0.33~0.45 である。

5. 結 言

Si-Mn 系鋼をホットストリップ圧延後, 急冷・低温巻き取りにより熱延まま DP 鋼板を製造し, 材質におよぼす製造条件の影響, 本鋼板の特徴を明らかにした。主要な結果は以下のとおりである。

(1) C は 0.01% 当たり 2.4 kg/mm^2 引張強さを増加させ強化に伴い延性は低下するが, 強度-延性バランスは低下しない。

(2) Si の影響は DP 化する限界巻き取り温度の上昇と強度-延性バランスの向上にみられ, 1.2%Si 鋼では 300°C 以下の巻き取り温度で高延性 DP 鋼板が得られる。

(3) 最適仕上げ温度の範囲は Si 増加に伴い拡大する。また仕上げ温度上昇に伴い降伏比は上昇, 全伸びは上昇し強大に達した後漸減する。

(4) 巻き取り温度上昇により引張強さは低下, 降伏比は上昇して, 限界温度以上で DP 鋼が得られなくなる。高 Si 鋼では全伸びが巻き取り温度とともに上昇し, 最適温度範囲は工程能力と材質水準から決まる。

(5) コイル内, 間の材質変動は素材の CC 化を含めた成分・熱延条件の厳しい制御により極小化される。

形状矯正による鋼板材質の劣化も素材コイルの形状改曇, レベラー矯正などにより防止できる。

(6) Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板は析出強化鋼と比較し, 加工硬化性, 焼付硬化性が大きい。また, 熱処理型 DP 鋼板に比べて降伏比は高いが, 強度-延性バランスで優れている。これらは前者において, マルテンサイトが粗く均一に分散しており, 帯状組織が小さいことによると考えられる。

(7) Si-Mn 系熱延まま DP 鋼板は従来型ハイテンと比べて伸びフランジ性・張り出し成形性が優れており, 他の実用性能でも遜色がない。

最後に本報告をまとめるに当たつて御協力頂いた名古屋製鉄所の徳永良邦, 堺製鉄所の橋本嘉雄, 大分製鉄所の早野成の各氏および各製鉄所の関係者の方々に深謝します。

文 献

- 1) M. S. RASHID: SAE Paper 760206, (1976)
- 2) J. H. BUCHER and E. G. HAMBURG: SAE Paper 770164, (1977)
- 3) A. P. COLDREN and G. TITHER: J. Metals, 30 (1978), No. 4, p. 6
- 4) 国重和俊, 高橋政司, 杉沢精一, 増井淑郎: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 1916
- 5) 橋口耕一, 西田 稔, 加藤俊之, 田中智夫: 鉄と鋼, 64 (1978), S257
- 6) T. FURUKAWA, H. MORIKAWA, H. TAKECHI, and K. KOYAMA: Proc. of Structure and Properties of Dual-Phase Steels, ed. by R. A. KOT and J. W. MORRIS, (1979), p. 281
- 7) 古川 敬, 森川博文, 遠藤道雄: 鉄と鋼, 65 (1979), A189
- 8) 岸田宏司, 竹本長靖, 田代 守, 金子国茂: 鉄と鋼, 65 (1979), S858
- 9) 渡辺国男, 橋本嘉雄, 佐藤豊彦, 平山秀男, 長尾正喜, 田中弘志: 鉄と鋼, 65 (1979), S859
- 10) 同: 同上, S860
- 11) 丸橋茂昭: 日新製鋼技報, (1966) No. 14, p. 1
- 12) P. E. REPAS: Ironmaking and Steelmaking (1980) Aug., p. 12
- 13) P. ABRAMOWITZ and R. A. MOLL: Met. Trans., 1 (1970), p. 1773
- 14) K. J. IRVINE and F. B. PICKERING: JISI, 201 (1963), p. 944
- 15) R. G. DAVIES: Met. Trans., 9A (1978), p. 41
- 16) 渡辺国男, 橋本嘉雄, 佐藤豊彦, 平山秀男, 長尾正喜, 野口明信: 鉄と鋼, 66 (1980), S1237
- 17) 古川 敬, 遠藤道雄: 鉄と鋼, 67 (1981), S532
- 18) 加藤征四郎, 鈴木謙一, 江坂一彬, 豊田和臣, 中村隆彰, 早野 成: 鉄と鋼, 67 (1981), S538
- 19) 高橋政司, 国重和俊, 長尾典昭, 杉沢精一, 浜松茂樹: 鉄と鋼, 66 (1980), S1234