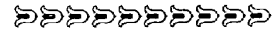


技術トピックス

UDC 669.14.018.292-415 : 669.112.227/228



米国における dual phase 鋼板の開発と利用

古川 敬*

Development and Utilization of Dual Phase Steels in the United States of America

Takashi FURUKAWA

1. はじめに

米国で自動車用高強度鋼板の必要性が叫ばれ始めたのは、1960年代後半にさかのぼる。当時、多発する自動車事故の要因として、車輛自体の安全性を追及するラルフ・ネーダーらの主張が世論として高まり、その結果、連邦自動車安全規準 (Federal Motor Vehicle Safety Standard) が制定された。その内容は年を逐つて技術的に厳しいものとなり、現在に至っている。また 1970 年には米国運輸省の主導で実験安全車 (Experimental Safety Vehicle) 計画が発足し、米国のみならず日本・西欧もこれに参加して、数年にわたつて研究・試作・国際会議が進められた。安全性追求の結果、たとえば衝突時の乗員の生存空間確保のためには構造的に著しい強化が必要となり、製造コストの激増と車輛重量増大を伴うことが知れた。時ならずして 1973 年の石油危機を迎え、1975 年に制定されたエネルギー保護政策により、米国の自動車メーカーは車輛の燃費改善が義務づけられた。燃費改善には車輛重量低減が必須要件である。このように、米国自動車産業界は、社会的およびエネルギー保全的要請から、安全性と経済性を両立させるべく自動車軽量化対策に真剣に取り組むことになつて¹⁾²⁾すでに久しい。したがつて、安価、軽量で強度の高い材料が基本的に必要となり、アルミニウムおよびその合金やプラスチック、繊維強化型複合材料などの採用あるいは試用もさることながら、価格面や大量供給安定性、その他付帯技術面(たとえば部品相互の接合、塗装、スクラップ処理性など)からして、必然的に高強度鋼板が切実に求められるに至っている。すなわち、使用部品に高強度鋼板を採用して板厚を減らすことが、自動車軽量化対策として基本的に必要であるという認識が滲透した。自動車用高強度鋼板の全般的な解説は他文献³⁾⁴⁾に詳しいので、本稿では、高強度・加工性兼備のフェライト・マルテンサイト

系複合組織鋼板として近年注目されている dual phase 鋼板⁴⁾⁵⁾について、しかも熱延鋼板に限定して、既公開文献にもとづき、米国での開発と利用動向の大筋を述べたい。

2. 米国自動車産業における dual phase 鋼板の意義

dual phase 鋼板が出現する以前から、米国での加工用熱延高強度鋼板の主流は、いわゆる HSLA (High Strength Low Alloy) 鋼であつた。これは 0.1~0.2% 程度の Nb, V, あるいは Ti など炭窒化物形成元素を含む析出強化鋼板で、商品名の例としては、Ultra-Form (Ti 添加系), Maxi-Form (Nb, V 添加系), Hi-Form (Nb 添加系), VAN (V 添加系), Formable (Nb 添加系), YS-T (Ti 添加系) などがある。それぞれの名称の後には 50 とか 80 とかの数字が付き (たとえば VAN-80), その数字が降伏強さ最低保証値を ksi で現している。これら析出強化鋼板は、複雑なプレス成形を適用するには n 値および伸びが低くて張り出し性に乏しく、また降伏比が高くしてスプリングバックが大きい傾向がある。このような成形困難性は強度が高まるにつれて著しくなる。したがつて、高強度鋼板導入の強い必要性は認められながら、適用部品はバンパー補強材、各種ブラケット類など比較的単純な成形品に限られ、グレードとしても降伏強さ 50 ksi 級 (引張強さ 45~50 kg/mm²級)* がほとんどで、降伏強さ 80 ksi 級 (引張強さ 65 kg/mm²前後) の鋼板などの実際の適用は無理な場合が多かつた。たとえば、American Motors 社で 80 ksi 級の析出強化鋼板を用いてアンダーボディ・リヤ・シル (underbody rear sill) を成形した経過報告⁶⁾を見れば、割れとスプリングバックにいかにも悩まされていたかがわ

* 慣例として、強度のグレードを示すのに米国では降伏強さ最低保証値を ksi で現し、日本では引張強さ最低保証値を kg/mm² で現している。

昭和 55 年 8 月 5 日受付 (Received Aug. 5, 1980) (依頼技術トピックス)

* 新日本製鉄(株)基礎研究所 工博 (Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

かる。

このようなわけで、熱延高強度鋼板を十分に活用して量産車において重量低減の実を上げるのは、従来の高強度鋼板を用いる限り困難視されて来た。

この種の著しい技術的困難性と、軽量化促進義務との板ばさみになつた米国自動車メーカーおよびその材料提供者である米国鉄鋼メーカーにしてみれば、図 1⁷⁾ に示すような dual phase 鋼板の応力-ひずみ特性に接して、これがあたかも救世主のように感じられたとしても不思議はない。低い降伏比、高い延性と加工硬化性、そして高い引張強さは、それまでの高強度鋼板における上述の成形困難性を大幅に緩和し、プレス成形による高強度部品の現実的適用範囲を著しく拡大する可能性を示すからである。

とくに、強度に対比して伸びの優れた点は、鋼板の成形上、基本的に有利であり、Ford 社の DAVIES ら⁸⁾はその点を他鋼種と比較して図 2 のように表現している。この図は、引張強さの高いほど、疲労強度尺度で見積つた重量低減に有利であり、引張強さ水準に対する伸びの大きいものほど成形加工の見地から望ましいことを主張

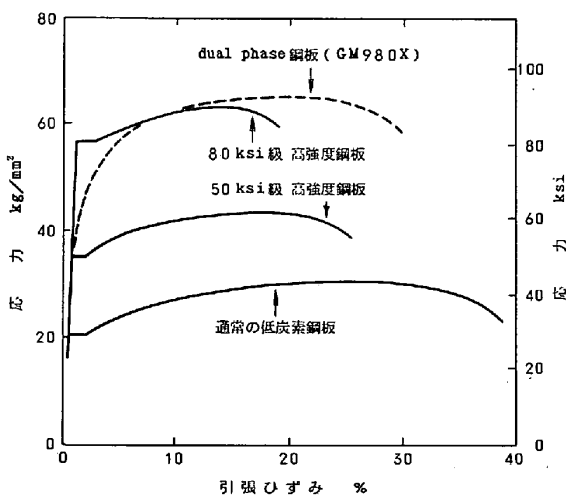


図 1 dual phase 鋼板, HSLA 鋼板および通常低炭素鋼板の応力-ひずみ特性⁷⁾

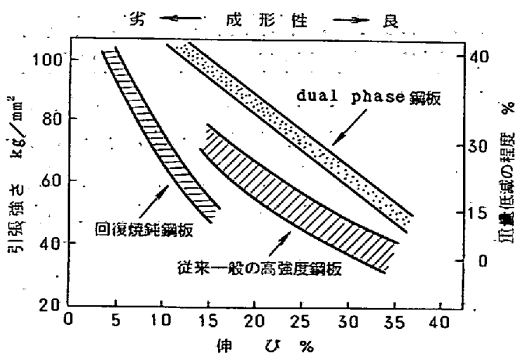


図 2 dual phase 鋼板および各種高強度鋼板の引張強さと延性の関係⁸⁾

している。また MIT の OWEN は, dual phase 鋼板を概観した論説⁹⁾の中で, “dual phase 鋼板の出現により, それまでの成形用高強度鋼板開発の努力は色褪せたものになつた”と述べた。この表現は, 多少誇張された感があるにせよ, dual phase 鋼板が米国での関連学界・業界において, 一種の人気スター的存在になつたことを示している。しかし, これは自動車製造技術体系での dual phase 鋼板の評価が確立したということではない。このスターが今後ますます人気を呼ぶか, あるいは失脚するかは, 鋼板製造技術ならびに利用技術の今後の詰めと展開にかかっているとと言えるであろう。

3. 開発の経緯

dual phase 鋼板は, 過去数年間にわたり, 米国と日本とでそれぞれ別個に開発されて来たとされているが¹⁰⁾, 公平にみて, 1975 年頃の日本からの英文による論文¹¹⁾¹²⁾が米国での開発にかなりの影響を与えたものと考えられる。1977 年頃の米国での dual phase 鋼板関連の主要論文の大多数に, これら日本の文献が引用されているのも, それを裏付ける。フェライトとマルテンサイトのラミネーション複合体または繊維型複合体を意図した強化の試みには先例がある¹³⁾¹⁴⁾が, 等方分散マルテンサイト相をもつ現在の低降伏比高延性型の dual phase 鋼板を連続熱処理法によつて製造するという, 現在の主流をなす技術パターンが短期間に確立されたことについては, 日本からの情報¹¹⁾が少なからぬ示唆を与えた旨を, OWEN⁹⁾ は第三者的に認めている。また KORCHYNSKY¹⁵⁾も, 欧州に対する dual phase 鋼の啓蒙宣伝的色彩の強い VANITEC Seminar (1978, Berlin) で, dual phase 鋼を米国が発明したわけではないことを述べている。手前味噌で恐縮だが, dual phase steel という名称自体, その出典は速水および筆者による日本からの報文¹¹⁾であり, 現在米国では公式の学会で通用する用語になつている。いずれにせよ, 日本での技術開発情報が, 当時の米国の社会的背景における自動車業界・鉄鋼業界が求めていた新材料開発の一つの大きな誘因となつたことは否定できない。

米国での熱延 dual phase 鋼板製造技術開発の流れは, 大きく見て二つに分けられる。Jones and Laughlin Steel 社の BUCHER ら^{16)~18)}が着手した連続熱処理鋼板の開発*と, Climax Molybdenum 社 (Michigan) の COLDREN ら¹⁹⁾²⁰⁾を中心とする熱延まま鋼板の開発とである。連続熱処理鋼板の開発の直接のきっかけをなしたのは, 公表文献をたどる限り, 上述の日本の発表論文と, GM 社の RASHID が 1976 年に発表した SAE** 年次大会報告²⁵⁾ (V 添加鋼の短時間熱処理による材質変化

* GM 社の BAILY (現在 GE 社), STEVENSON ら^{21)~23)}, Inland Steel 社の FINE ら²⁴⁾ による連続焼なまし・水冷・焼もどし法による鋼板の開発も, 他の一つの流れと考えられるが, 冷延鋼板として実用化されているので本稿では省略する。

** 自動車技術者協会 (Society of Automotive Engineers)

表 1 dual phase 鋼板に関する SAE 年次大会の発表論文

年	発表者	所属	内容
1976	RASHID ²⁵⁾	GM	V添加 HSLA の加熱空冷で低降伏比, 高強度, 高加工硬化性 (GM-980X)
1977	RASHID ⁷⁾	GM	GM-980X をバンパー, ホイールディスクに適用
	BUCHER, HAMBURG ¹⁶⁾	Jones & Laughlin	V添加 HSLA の連続熱処理により GM-980X 相当材質 (商品名 VAN-QN).
1978	RASHID, LAWRENCE ³³⁾	GM, Motor Wheel	GM-980X によるホイールの重量減.
1979	POLLARD, GOODENOW ³⁵⁾	Jones & Laughlin	dual phase 鋼板のスポット溶接性.
	CORNFORD, HIAM, HOBBS ⁴⁸⁾	Dofasco (カナダ), BHP (オーストラリア)	熱延まま dual phase 鋼板の性質.
	REPAS ³²⁾	US Steel	dual phase 鋼板の組織・性質. Si 添加の影響
	MANTEY, BURTON ³⁴⁾	GM	dual phase 鋼板のバンパーについて.

注: 冷延 dual phase 鋼板関係のものは省略した.

表 2 1977 年 10 月の TMS-AIME symposium

発表者	所属	内容
RASHID ²⁶⁾	GM	V添加 dual phase 鋼板の組織と成形性.
DAVIES ²⁸⁾	Ford	dual phase 鋼板の延性.
RIGSBEE, VANDERAREND ²⁹⁾	Republic Steel	dual phase 鋼板の組織と材質.
MARDER ³⁰⁾	Bethlehem Steel	dual phase 鋼板の延性への影響因子.
BUCHER, HAMBURG ¹⁷⁾	Jones & Laughlin	VAN-QN の組織と材質.
MORROW, TITHER, BUCK ²⁷⁾	Climax Molybdenum	Mo 添加 dual phase 鋼板の組織と材質.
COLDREN, TITHER, CORNFORD, HIAM ²⁰⁾	Climax Molybdenum, Dofasco (カナダ)	熱延まま dual phase 鋼板の開発とミルトリアル.

表 3 1979 年 2 月の TMS-AIME symposium

発表者	所属	内容
DAVIES, MAGEE ³⁸⁾	Ford	dual phase 鋼板の材料特性一般.
BECKER, HORNOGEN ³⁶⁾	Ruhr Univ. (西独)	dual phase 組織形成の解析.
GARCIA, DEARDO ³⁹⁾	Univ. Pittsburgh	二相域でのオーステナイト形成.
MATLOCK, KRAUSS, RAMOS, HUPPI ⁴⁰⁾	Colorado School of Mines	dual phase 鋼板の塑性変形挙動.
CRIBB, RIGSBEE ⁴¹⁾	Republic Steel	dual phase 鋼板の加工硬化性.
GERBASE, EMBURY, HOBBS ⁴²⁾	McMaster Univ. (カナダ)	各種製法 (熱延まま法を含む) による dual phase 鋼板の機械的性質.
SPEICH, MILLER ⁴³⁾	US Steel	マルテンサイト組織と強度・延性関係.
THOMAS, KOO ⁴⁴⁾	Univ. Colifornia	成分・変態経路・組織形態と材質.
ELDIS ⁴⁵⁾	Climax Molybdenum	組織と試験条件の材質への影響.
MARDER, BRAMFITT ⁴⁶⁾	Bethlehem Steel	Mo 添加あるいは V 添加 dual phase 鋼板.
GREDAY, MATHY, MESSIEN ³⁷⁾	CRM (ベルギー)	Mo 添加熱延まま dual phase 鋼.
RIGSBEE, ABRAHAM, DAVENPORT, FRANKLIN, PICKENS ⁴⁷⁾	Republic Steel	各種製法 (熱延まま法を含む) による dual phase 鋼板の組織と材質.
BUCHER, HAMBURG, BUTLER ¹⁸⁾	Jones & Laughlin	VAN-QN の特性一般.

に関するもの) とであると思われる。現在までのところ、工業的な製造技術として一応の結着を見たのは連続熱処理鋼板の開発であつて、VAN-QN, Dual Phase 80 などの商品名が見受けられるようになった。

米国での dual phase 鋼板の研究開発動向は、1976 年以降の SAE 年次大会の発表論文と、The Metallurgical Society of AIME の 1977 年 10 月 (Chicago) および 1979 年 2 月 (New Orleans) の各 symposium proceedings におおむね集約されている。それら諸論文の主なものをまとめて表 1~表 3 に示す。これらの表を参照しながら、開発の経過を述べたい。なお、1980 年 2 月の SAE 年次大会では、米国自動車業界の不況を反映してか、dual phase 鋼板関係の研究報告がほとんどないようだが、TSM-AIME では 1981 年に“dual phase 鋼の基礎”を主題とした第 3 回目の symposium を予定している。

3.1 連続熱処理鋼板の開発

1976 年の SAE 年次大会で (表 1)、GM 社の RASHID が“GM980X: 優れた成形性をもつユニークな高強度鋼板”と題する報告²⁵⁾を行つた。GM980X とは、この報告で紹介された特殊な機械的性質を有する鋼板に対して仮につけた名称で、後に GM6187-M として規格化された³⁴⁾。

彼は表 4²⁵⁾に例示する Ti 添加あるいは V 添加高強度鋼板 (いずれも SAE980X 規格、すなわち降伏強さ 80 ksi 以上を満足するもの) に数 min~30 min の短時間焼なましおよび空冷を施したところ、焼なまし温度 750~900°C の範囲では V 添加鋼は高い引張強さを確保したまま降伏強さが低下し、延性が改善され、加工硬化性が極めて高くなることを見出した。Ti 添加鋼はそのような特徴的な挙動を示さず、焼なまし温度上昇に伴って引張強さが低下した。V 添加鋼のこのような特徴に注目した RASHID は、その高加工硬化性の原因として、V 炭窒化物が焼なましによりいつたん溶解し、冷却中に超顕微鏡的な析出物あるいはクラスターとして再配列することによるのだろうと当時は推測した。したがつて、この見解は、V 添加鋼焼なまし空冷材の高加工硬化性が本質的にフェライト相中の転位と微細析出物との相互作用に由来する (つまり析出強化鋼の範疇における特殊な場合) と考えたものであつて、マルテンサイトの役割について

は、とくに注目していなかつた。しかし、翌 1977 年には (表 1, 表 2)、RASHID 自身も含めて⁷⁾²⁶⁾多くの研究者が、フェライト・マルテンサイトの複合組織を基調として材質を検討するというコンセンサスに達し、dual phase steel という名称も、この時期に定着した。BUCHER¹⁶⁾¹⁷⁾は、Jones and Laughlin Steel 社で工業的に製造された V 添加 dual phase 鋼板 (VAN-QN) の材質特性について 1977 年に発表し、同社を dual phase 鋼板の先発メーカーとして印象づけた。この開発には、RASHID と BUCHER らとの情報交換が重要な役割を果たしたようである¹⁶⁾。

3.2 熱延まま鋼板の開発

既存の連続熱延ラインにより熱延まで dual phase 鋼板を得ることが可能ならば、連続熱処理設備の新設あるいは改造などの設備投資が不要となるので、その技術開発は、当然ながら米国鉄鋼業界の切望するところとなつた。

Climax Molybdenum 社 (Michigan) の COLDREN¹⁹⁾²⁰⁾は、アツキュラー・フェライト組織のラインパイプ材を開発した一連の研究の経験で、Mn-Si-Cr-Mo 系鋼が捲取徐冷後でもフェライト・マルテンサイト複合組織になり得る場合があることを発見し、その知見にもとづいて熱延まま dual phase 鋼板を開発した (表 2)。鋼成分の一例は 0.06% C, 1.2% Mn, 0.9% Si, 0.6% Cr, 0.4% Mo で、その CCT 曲線を図 3 に示す¹⁹⁾²⁰⁾。初析フェライトのノーズとベイニティックフェライト+マルテンサイト領域との間にオーステナイト領域が入り込んでいるのが特徴である。熱延仕上げ後、冷却中に初析フェライトを生成させ、オーステナイトの入り込んだ領域に相当する条件で、すなわちフェライト+未変態オーステナイトの混合組織状態で捲取り、その後の徐冷を経て最終的にフェライト+マルテンサイトを主要相とする dual phase 組織を得る。実際の熱延工程では、仕上げ時点のオーステナイトがひずみを含むため、初析フェライトの生成は図 3 の CCT 曲線で示されるよりもずつと加速されるので、通常の連続熱延ラインで製造可能であるという。この技術は、設備投資不要の観点からかなりの反響を呼び、仄聞するところでは Bethlehem Steel 社、Dofasco 社 (Canada) などが強い関心を寄せ、工場実験も試みているようである²⁰⁾⁴⁸⁾。

表 4 RASHID が用いた実験試料鋼板²⁵⁾

鋼 板	板 厚 mm	成 分 (%)						
		C	Si	Mn	Ti	V	N	O
Ti 添加	1.9	0.08	0.03	0.33	0.24	0.014	0.006	0.014
V 添加	2.0	0.12	0.51	1.46	0.001	0.11	0.019	0.002

注: V 添加鋼が特異な挙動を示したのは、現在の認識では、高い Mn 量と固溶 V とによりオーステナイト焼入性が上り、空冷後にフェライト・マルテンサイト組織が生じたためと判断される。

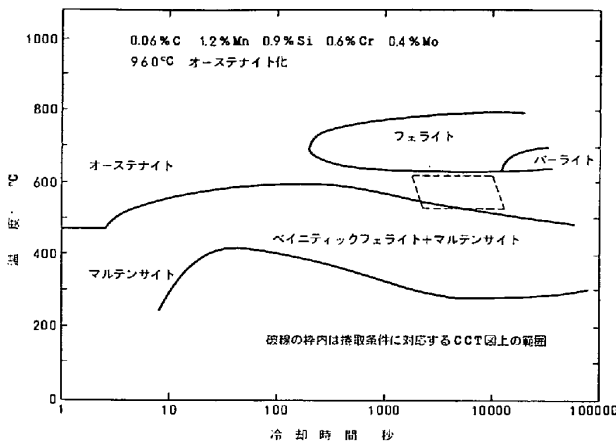


図3 熱延まま dual phase 鋼板のための成分鋼の無加工状態での CCT ダイアグラム¹⁹⁾²⁰⁾

3.3 研究開発の動向

1977年には(表1,表2)主として連続熱処理法による dual phase 鋼板の材質特性の概略の把握(RASHID²⁶⁾)と工業的製造技術の開発(UCHER¹⁶⁾¹⁷⁾、バンパーやホイール・ディスクへの適用試験結果(RASHID⁷⁾)などが報告され、また合金成分や製造プロセスの研究(MORROW²⁷⁾, DAVIES²⁸⁾), さらに金属組織学的な解析研究(RIGSBEE²⁹⁾, UCHER¹⁷⁾, MARDER³⁰⁾, DAVIES²⁸⁾)に関する論文が公表された。このように、1976年の RASHID の報告²⁵⁾以来、製造技術開発から適用技術開発、また基礎的解析研究が、1年ほどの間にマクロ的にみてほとんど平行して行われたことになる。連続熱処理法のための素材熱延鋼板としては、V 添加鋼が実用化された⁷⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²⁶⁾。これは、既述のように初期の RASHID の研究報告²⁵⁾で、Vが添加元素として加工硬化性向上に対し何かしらユニークな効果を持つと思われたこと、また、この種の成分鋼板が在来の HSLA 鋼としてすでにプロパー化されて久しいもの(VAN-80 など)であったことが原因であろう。一方では、連続熱処理鋼板のための他の添加成分元素として、Mo が紹介された²⁷⁾。これは熱延まま鋼板の提唱者と同じく Climax Molybdenum 社(Michigan)のMorrow らの報告で、V添加鋼の場合に比較して熱処理時間変動に対する材質変化が少ない(V添加鋼の場合はV炭窒化物を再固溶させねばならないので熱処理時間が多少長くかかる)というメリットを挙げ、暗にVの対抗馬としてMoを推している。

このように、米国の連続熱処理 dual phase 鋼板は、Vあるいは Mo 添加鋼が中心であるようだが、これら元素はオーステナイト相の焼入性を改善しマルテンサイト変態を好都合に生ぜしめる効果があるという見解が現在一般的である^{27)~29)}。当時、日本からは、これら元素を用いない Si-Mn 系の連続熱処理鋼板が提唱されていた³¹⁾。米国でVや Mo などの合金元素が重要視された理由

は、連続熱処理後の冷却能力不十分な設備でも生産できること(オーステナイト焼入性改善効果による)にあつたと想像される。

もうひとつの理由として、Vや Mo の供給者(Union Carbide 社や Climax Molybdenum 社)が、これら合金元素を利用させるべく熱心なキャンペーンを行つたであろうことも想像に難くない。

1979年に至つて、Si-Mn系鋼をもつてしてもV添加系鋼と少なくとも同等以上の結果を得るという U. S. Steel 社の REPAS の報告³²⁾がみられ(表1)、米国での連続熱処理 dual phase 鋼板における合金元素依存姿勢からの若干の変化が読みとれる。

1978年から79年にかけて、SAE年次大会では(表1) dual phase 鋼板の利用技術面の報告すなわちホイールへの適用³³⁾、バンパーへの適用³⁴⁾、さらにスポット溶接性³⁵⁾に関するものがみられる。一方、1979年の AIME の symposium(表3)では、欧州の研究者³⁶⁾³⁷⁾をも加えて組織-材質関連の基礎研究的色彩の強い報告^{38)~47)}が多くなつている。

これら最近の研究も、いぜんとして連続熱処理関連のものが主流をなしているが、熱延まま鋼板に関する報告も数を増し³⁷⁾⁴²⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾、この技術に関する研究者の関心が高まつたことを示している*。また、先発材料であるV添加熱処理鋼板について、UCHER¹⁶⁾が各種強度級、各種板厚の製造実績や材質特性一般をあらためて紹介し、実用材としての地位を固めようとしている。

4. dual phase 鋼板の利用

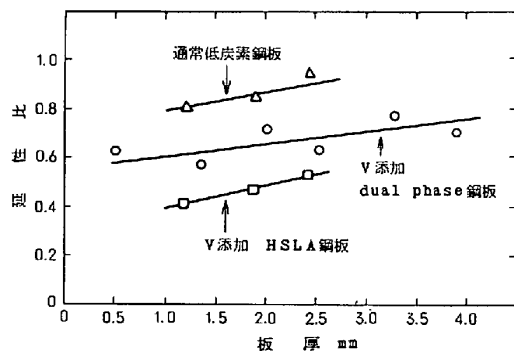
析出強化型の HSLA 鋼板に比較して、dual phase 鋼板は、加工硬化性が高いのでプレス加工におけるひずみの分布が均一化する傾向が強¹⁶⁾、局所変形によるネッキングおよび破断の傾向が緩和されるため、HSLA 鋼板では成形困難であつたバンパー⁷⁾³⁴⁾やホイールディスク⁷⁾³³⁾などの成形に利用できる。GM社では、1979年型 Cadillac Eldorado 車のバンパーの量産試験を行つた結果、すでに述べた GM-980X を GM-6187-M と番号づけして GM 社内規格とし、鉄鋼メーカー側にこの規格値を要求することになつた。それは表5のようなものである³⁴⁾。この original 規格は、GM-980X の原型に近いものであるが、プレス成績を良好ならしめるため modified 規格(引張強さを少し低下させ、延性をやや改善したもの)も導入された。いずれにしても、降伏強さの上限指定は、高強度鋼板としては前代未聞のことであつて、3%引張応力の下限指定、引張強さの下限指定を満足させるためには、低降伏比、高加工硬化性が要求されることがわかる。

dual phase 鋼板の利用面でまず期待されるのは成形

* 日本では、これと異つた技術思想による熱延まま鋼板が開発されている^{49)~51)}。

表 5 GM 社の dual phase 熱延鋼板規格³⁴⁾

規 格	GM-6187-M	
	original	modified
降伏強さ (0.2% 耐力, kg/mm ²)	38.7 以下	38.7 以下
3% 引張応力 (kg/mm ²)	49.2 以上	45.7 以上
引張強さ (kg/mm ²)	63.3 以上	59.8 以上
全 伸 び (%)	27 以上	28 以上

図 4 スポット溶接部の延性比の鋼種別比較³⁵⁾

性であり、その基礎となる材質に関する報告は、すでに述べたようになら多い。しかし自動車部品への適用という具体的な問題に必ずや応ずるためには、溶接性、疲労特性、あるいは塗装性、耐食性などに至るそれぞれの技術分野の情報が必要なのはいうまでもない。これらの大部分は、今後の課題として残されているようである。このような利用技術面での、乏しくしかも断片的な文献の中から、二、三の目ぼしいものを拾ってみよう。

POLLARD ら³⁶⁾は、V添加 dual phase 鋼板と、ほぼ同成分の析出強化鋼板、さらに低炭素鋼を加えた三者のスポット溶接性を調査した。dual phase 鋼板のナゲット硬さは析出強化鋼板と同程度であるが、図 4 に示すように、延性比 (剝離引張強さ/剪断引張強さ) は同成分の析出強化鋼よりも優れている。すなわち、同成分鋼でも (V添加鋼に関する限りは) 熱処理により dual phase 鋼板とすれば、溶接材質が若干改善されることになる。

疲労特性については、DAVIES ら³⁸⁾、SHERMAN ら⁵²⁾が若干のデータを報告し、dual phase 鋼板の平滑材の疲労寿命試験では、他の種類の高強度鋼板に比較して高ひずみ低サイクルでの特性が優れている (低ひずみ高サイクルでは他種高強度鋼板と同程度) ことを述べ、また予ひずみ付加材やノッチ付与材の疲労特性などについても検討しているが、実用上の指針とするにはまだ不十分のようである。

スポット溶接部の疲労特性を POLLARD ら³⁶⁾が調査しているが、高サイクル疲労特性は高強度鋼板も通常低炭

素鋼板も差がなく、dual phase 鋼板も例外ではない。したがって一点スポット溶接材の疲労特性では、高強度鋼板を使用するメリットが見出せず、スポット点数や配列、適用部品の荷重検討などが要求されることになる。これは高強度鋼板全般の問題で、dual phase 鋼板に限ったことではない。

5. おわりに

米国での dual phase 熱延鋼板の製造技術と材質に関する開発は、少なくとも連続熱処理法による技術については一応の工業製品が得られる段階にある (一部の鉄鋼会社⁵³⁾において) といえる。1978 年に、Jones and Laughlin Steel 社では Pittsburgh 工場に VAN-QN 製造のための月産 15000 t の設備を準備中である旨が報じられた⁵⁴⁾。その後の経過は、筆者は寡聞にして知るところでないが、現在苦境にある米国自動車業界・鉄鋼業界の状況から推して、きわめて短期間に dual phase 鋼板の生産量・使用量が驚異的に伸びるといつた状況ではないように思われる。鉄鋼メーカー側には、おそらく材質の均質化、低コスト化への努力が引続き要求されようし、また Climax Molybdenum 社方式の熱延まま鋼板も、設備投資こそ不要とはいえ成分コスト高が懸念される。

材質関連の研究報告の豊富さに比較して、利用技術関連の報告がまだ貧弱であることも、dual phase 鋼板の米国での一般的な普及にはまだ若干時間がかかることを予想させる。とくに自動車用鋼板として実用上重要な溶接性や、溶接部疲労特性、切り欠き部や加工部材疲労特性などの諸問題は、経験の蓄積にまたねばならない面の多い技術分野であり、情報も断片的で、基礎的系統的な理解は今後に残されていると思われる。しかしながら、自動車軽量化・燃費低減は、技術上の課題として避けられない一大潮流であり、米国での関係業界の苦境を通しての技術開発の積重ねと、学界の基礎研究からの支援により、dual phase 鋼板の製造技術や材質は洗練化されて行くであろうし、また適切な利用技術が開拓され、自動車軽量化技術に貢献することが期待される。今後への期待

* Jones and Laughlin Steel, U.S. Steel, National Steel, Mc-Louth Steel 各社 (1979 年末現在)⁵³⁾。

については、多くの点で、日本においても同様であろう。

文 献

- 1) 青木 至: 鉄と鋼, 65 (1979), 6, p. 687
- 2) 中塚武司, 杉 時夫: 自動車の事典 (樋口他編), (1978), p. 422 [朝倉書店]
- 3) 例えば武智 弘: 塑性と加工, 21 (1980), 229, p. 109
- 4) 高橋政司, 国重和俊, 岡本篤樹: 日本金属学会会報, 19 (1980), 1, p. 10
- 5) 古川 敬: 日本金属学会会報, 19 (1980), 6, p. 439
- 6) J. J. JURKOWSKI and R. N. KELLER: SAE paper 770215 (1977)
- 7) M. S. RASHID: SAE paper 770211 (1977)
- 8) R. G. DAVIES and C. L. MAGEE: J. Metals, 31 (1979), 11, p. 17
- 9) W. S. OWEN: Metals Technology, 7 (1980) 1, p. 1
- 10) R. A. KOT and J. W. MORRIS, Jr.: Structure and Properties of Dual-Phase Steels, ed. by R. A. KOT and J. W. MORRIS, Jr., (1979), in Foreword, [TMS-AIME]
- 11) S. HAYAMI and T. FURUKAWA: Proceedings of Microalloying 75, 2A, (1975), p. 78 [Union Carbide Corp.]
- 12) T. MATSUOKA and K. YAMAMORI: Met. Trans. 6A (1975) 8, p. 1613
- 13) R. L. CAIRNS and J. A. CHARLES: JISI, 205 (1967), 10, p. 1044 and p. 1051
- 14) R. A. GRANGE: Proceedings of the Second International Conference on the Strength of Metals and Alloys, 3, Pacific Grove, California, (1970), p. 861 [ASM]
- 15) M. KORCHYNSKY: Dual Phase and Cold Pressing Vanadium Steels in the Automobile Industry, Proceedings of Seminar, Berlin, (1978), p. 55 [VANITEC]
- 16) J. H. BUCHER and E. G. HAMBURG: SAE paper 770164 (1977)
- 17) J. H. BUCHER and E. G. HAMBURG: Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. by A. T. DAVENPORT, (1979), p. 142 [TMS-AIME]
- 18) J. H. BUCHER, E. G. HAMBURG, and J. F. BUTLER: 文献 10), p. 346
- 19) A. P. COLDREN and G. TITHER: J. Metals, 30 (1978), 4, p. 6
- 20) A. P. COLDREN, G. TITHER, A. CORNFORD, and J. R. HIAM: 文献 17), p. 205
- 21) D. J. BAILY and R. STEVENSON: Met. Trans., 10A (1979) 1, p. 47
- 22) R. STEVENSON, D. J. BAILY, and G. THOMAS: Met. Trans. 10A (1979) 1, p. 57
- 23) W. G. BRAZIER and R. STEVENSON: SAE paper 780137 (1978)
- 24) T. E. FINE, R. V. FOSTINI, B. S. LEVY, A. G. PREBAN, and R. STEVENSON: SAE paper 780136 (1978)
- 25) M. S. RASHID: SAE paper 760206 (1976)
- 26) M. S. RASHID: 文献 17), p. 1
- 27) J. W. MORROW, G. TITHER, and R. M. BUCK: 文献 17), p. 151
- 28) R. G. DAVIES: 文献 17), p. 25
- 29) J. M. RIGSBEE and P. J. VANDERAREND: 文献 17), p. 56
- 30) A. R. MARDER: 文献 17), p. 87
- 31) S. HAYAMI, T. FURUKAWA, H. GONDOH, and H. TAKECHI: 文献 17), p. 167
- 32) P. E. REPAS: SAE paper 790008 (1979)
- 33) M. S. RASHID and G. D. LAWRENCE: SAE paper 780138 (1978)
- 34) H. H. L. MANTEY and F. T. BURTON: SAE paper 790281 (1979)
- 35) B. POLLARD and R. H. GOODENOW: SAE paper 790006
- 36) J. BECKER and E. HORNBOGEN: 文献 10), p. 20
- 37) T. GREDAY, H. MATHY, and P. MESSIEN: 文献 10), p. 260
- 38) R. G. DAVIES and C. L. MAGEE: 文献 10), p. 1
- 39) C. I. GARCIA and A. J. DEARDO: 文献 10), p. 40
- 40) D. K. MATLOCK, G. KRAUSS, L. F. RAMOS and G. S. HUPPI: 文献 10), p. 62
- 41) W. R. CRIBB and J. M. RIGSBEE: 文献 10), p. 91
- 42) J. GERBASE, J. D. EMBURY, and R. M. HOBBS: 文献 10), p. 118
- 43) G. R. SPEICH and R. L. MILLER: 文献 10), p. 145
- 44) G. THOMAS and J. Y. KOO: 文献 10), p. 183
- 45) G. T. ELDIS: 文献 10), p. 202
- 46) A. R. MARDER and B. L. BRAMFITT: 文献 10), p. 242
- 47) J. M. RIGSBEE, J. K. ABRAHAM, A. T. DAVENPORT, J. E. FRANKLIN and J. W. PICKENS: 文献 10), p. 304
- 48) A. CORNFORD, J. R. HIAM, and R. M. HOBBS: SAE paper 790007 (1979)
- 49) T. FURUKAWA, H. MORIKAWA, H. TAKECHI, and K. KOYAMA: 文献 10), p. 281
- 50) 古川 敬, 森川博文, 遠藤道雄: 鉄と鋼, 65 (1979), 8, p. A189
- 51) 古川 敬, 武智 弘, 渡辺国男, 戸来稔雄, 竹本長靖: 日本金属学会会報, 19 (1980): 7 p. 541
- 52) A. M. SHERMAN and R. G. DAVIES: Met. Trans., 10A (1979), 7, p. 929
- 53) G. J. McMANUS: Iron Age, 222 (1979) 45, p. MP-17
- 54) "Metalproducing Newsfront" Iron Age, 221 (1978) 25, p. MP-38