

最近の特徴ある自動車用ハイテン

Recent Developed High Strength Sheet Steel for Automobile

野村茂樹/Shigeki Nomura・鹿島製鉄所 技術総括部 商品開発室 担当副長

中澤嘉明/Yoshiaki Nakazawa・鹿島製鉄所 技術総括部 商品開発室

中居修二/Shuji Nakai・鹿島製鉄所 技術総括部 商品開発室 担当課長

水井直光/Naomitsu Mizui・総合技術研究所 薄板研究部 主任研究員

要 約

自動車会社において、自動車の燃費向上のための車体軽量化および衝突安全規制の強化に伴う安全性向上を目的として高張力鋼板の要望が強くなってきている。自動車用途では部品によって異なる性能が要求されるため、効率的にかつ低コストで高張力化するには、それぞれの要求性能に合った鋼板を採用することが重要である。

本報では下記4種類の、具体的な自動車部品の要求性能に合わせて開発された最近の自動車用高張力鋼板について解説する。

- 1) ホイール用高張力熱延鋼板
- 2) 足廻り用高張力熱延鋼板
- 3) ボディ／メンバー用高張力冷延鋼板
- 4) バンパー／ドアガードバー用高張力冷延鋼板

Synopsis

There is an increasing requirement for the supply of high strength sheet steel to reduce the weight of automobiles for better fuel economy. Simultaneously the level of automobile impact safety must meet tighter standards and regulations. Effective cost saving is achieved by adopting high strength steels having properties required for each part.

This paper presents the characteristics of developed high strength steels suitable for the following automobile parts ;

- (1) wheel (2) underbody part (3) body / member (4) bumper / door guard bar.

1. はじめに

自動車の燃費向上に伴う車体軽量化を図るためには高張力化による薄肉化が必要である。また、法規制強化に見られるような衝突安全性の観点からも材料の高張力化は必要不可欠となってきた。自動車用途では部品によって異なる性能が要求されるため、効率的にかつ低コストで高張力化するにはそれぞれの要求性能に合った鋼板を採用することが重要である。

例えば熱延鋼板が適用されるホイールでは、ディスク用において優れた表面性状、疲労特性ならびにバーリング成形性が重要であり、リム用においてはDCバット溶接性が要求される。足廻り部品用においては、伸びフランジ成形に耐え得るだけの高成形性を具備することが必要である。

また、冷延鋼板において、ボディ／メンバー用ではプレス成形品の耐デント性ならびに深絞り成形性が重要であり、フレーム用においては衝突時の衝撃を効率的よく吸収する衝撃吸収性が重要である。バンパー／ドアガード用においても同様で、衝突時の衝撃に耐え得るだけの超高強度と成

形性を具備することが必要である。

そこで、各部品において高張力鋼板適用を図るために必要な特性を満足する高張力鋼板を開発した。この高張力鋼板の適用により、上記の目的である車体軽量化ならびに衝突安全性の向上が期待される。

2. ホイール用熱延鋼板

ホイールは、成形性と疲労特性が要求されるディスク部とDCバット溶接性が重要なリム部からなり、それぞれで要求性能が異なる。

2-1 ホイール・ディスク用熱延鋼板

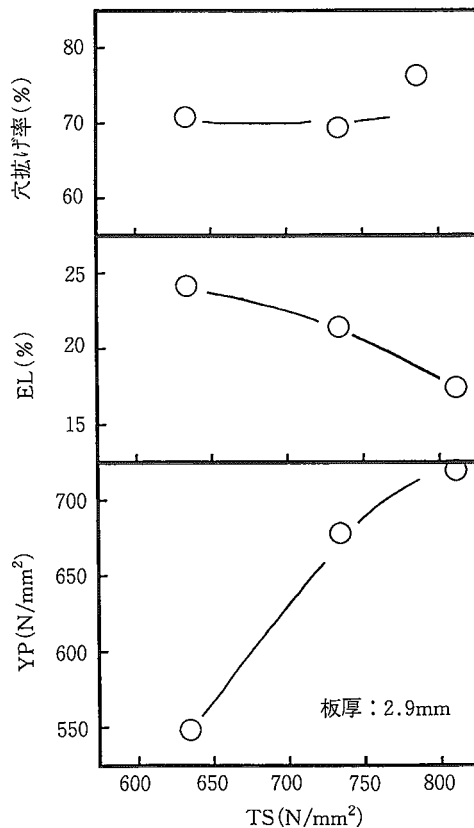
ホイール・ディスク用熱延鋼板の化学組成を第1表に示す。ホイール・ディスクでは良好な表面性状が要求される。したがってスケールによる押し込み疵を防止するためSi量は0.1%以下に抑えた。またバーリング加工での割れを防止するためS量を低減した。強度の確保はNb、Ti炭化物による析出強化とCrによる変態強化を活用している。

第1表 ホイール・ディスク用熱延鋼板の化学組成 (mass%)
Table 1 Chemical compositions of hot rolled steels for wheel disc use

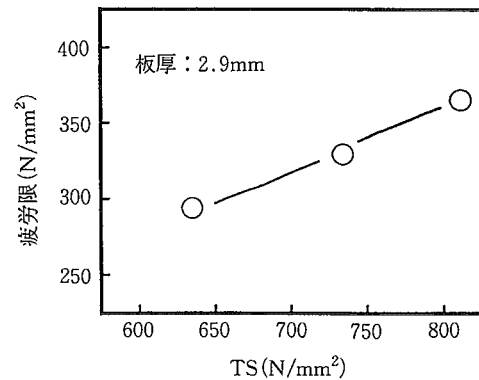
強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他
590N/mm ² 級	0.08	0.06	1.33	<.025	<.002	Nb, Ti
690N/mm ² 級	0.09	0.06	1.48	<.025	<.002	Nb, Ti
780N/mm ² 級	0.07	0.07	1.46	<.025	<.002	Nb, Ti, Cr

熱延鋼板の圧延直角方向の JIS 5 号引張特性と12%クリアランスの打抜き穴を60°円錐ポンチで板厚貫通割れが発生するまで押し抜けたときの穴拡げ率を第1図に示す。780N 級鋼でも約20%の伸びと約70%穴拡げ性を有しており、ホイール・ディスク成形に必要な伸びと穴拡げ性を具備している。

第2図には各熱延鋼板の両面振り曲げ疲労限と引張強度との関係を示す。材料の引張強度とともに直線的に材料の疲労強度も上昇する。



第1図 ホイール・ディスク用熱延鋼板の引張特性と穴拡げ性
Fig.1 Tensile and hole expansion properties of hot rolled steels for wheel disc use



第2図 ホイール・ディスク用熱延鋼板疲労限と引張特性との関係
Fig.2 Relationship between tensile strength and fatigue limit of hot rolled steels for wheel disc use

2-2 ホイール・リム用熱延鋼板

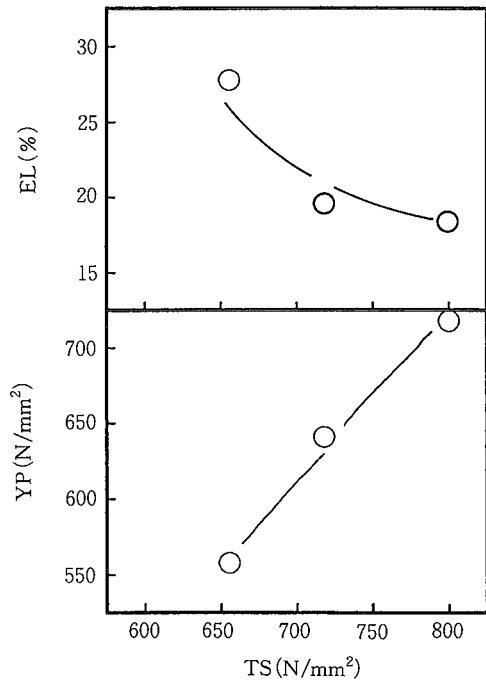
ホイール・リム用熱延鋼板の化学組成を第2表に示す。ホイール・リムでは良好なDCバット溶接性が要求される。DCバット溶接時に溶接部が硬化しすぎると、成形時に溶接隣接部に歪みが集中し、2番割れと呼ばれる成形不良が発生する。逆に溶接部が母材強度以下に軟化すると成形時に溶接部でネッキングによる割れが生じる。そこでC, Mn, Cr等の溶接部を硬化させる元素とNb, Ti等溶接部に比べ母材を強化する元素をバランス良く添加している。

熱延鋼板の圧延直角方向の JIS 5 号引張特性を第3図に示す。780N/mm²級鋼においてもホイール・リム成形に必要な伸びを有している。またDCバット溶接後トリムを実施した場合の溶接部のビッカース硬度を第4図に示す。溶接部硬度上昇は50HV以下に抑えることができた。

第2表 ホイール・リム用熱延鋼板の化学組成 (mass%)
Table 2 Chemical compositions of hot rolled steels for wheel rim use

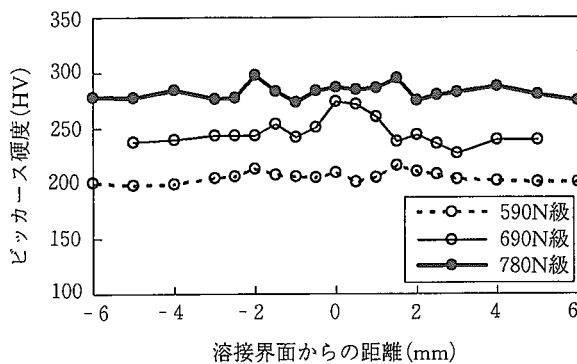
強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他
590N/mm ² 級	0.09	0.09	1.32	<.025	<.005	Nb, Ti
690N/mm ² 級	0.09	0.06	1.48	<.025	<.005	Nb, Ti
780N/mm ² 級	0.07	0.07	1.46	<.025	<.005	Nb, Ti, Cr

製品・技術紹介



第3図 ホイール・リム用熱延鋼板の引張特性

Fig.3 Tensile properties of hot rolled steels for wheel rim use



第4図 ホイール・リム熱延鋼板のDCバット溶接・トリム後の溶接部硬度分布

Fig.4 Vickers hardness distribution of hot rolled steel for wheel rim use after trimming of DC butt welding

3. 足廻り用高張力熱延鋼板

自動車の燃費ならびに運動性能の向上のためには、バネ下重量の低減が効果的である。そのために高張力化による薄肉化が検討されている。足廻り部品は不可視部であり厳しい表面性状は要求されない。しかしながら複雑な形状を有する難成形部品であるため、Si添加により成形性の向上を図っている。

3-1 高穴拡げ型熱延鋼板

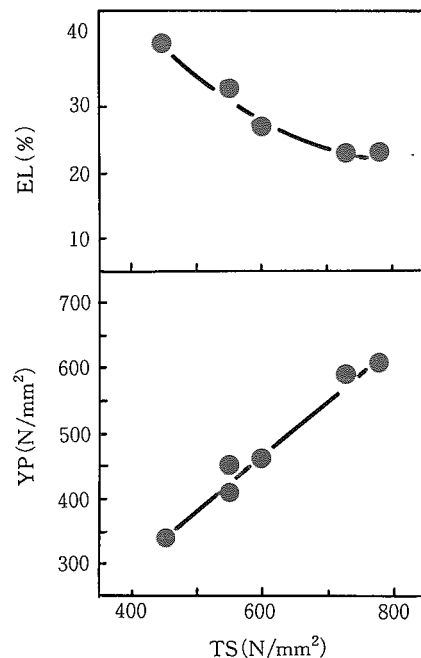
足廻り部品では伸びフランジ成形を有する部品が多いため、Siを添加しベイナイト比率を高め穴拡げ性を改善した熱延鋼板を開発した。第3表に開発鋼の化学組成を示す。

第3表 高穴拡げ型熱延鋼板の化学組成 (mass%)

Table 3 Chemical compositions of hot rolled steels with high hole expansion property

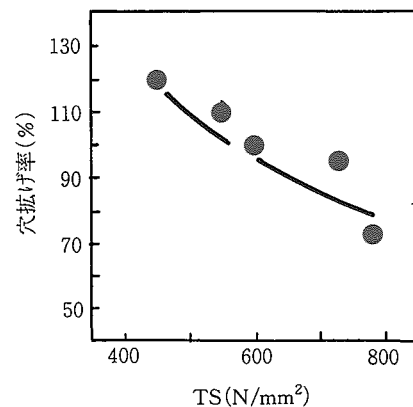
強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他
440N/mm ² 級	0.06	0.40	0.90	<.025	<.002	
540N/mm ² 級	0.07	0.80	1.50	<.025	<.002	
590N/mm ² 級	0.07	0.80	1.20	<.025	<.002	Cr
690N/mm ² 級	0.07	1.00	1.20	<.025	<.002	Ti, Cr
780N/mm ² 級	0.06	1.30	1.30	<.025	<.002	Ti, Cr

また開発鋼の圧延直角方向のJIS 5号引張特性を第5図に示す。また引張強度と穴拡げ性との関係を第6図に示す。ホイール・ディスク用熱延鋼板と比べても、穴拡げ性が大幅に改善されており、さらに伸びの改善も見られた。



第5図 高穴拡げ型熱延鋼板の引張特性

Fig.5 Tensile properties of hot rolled steel with high hole expansion property



第6図 高穴拡げ型熱延鋼板の穴拡げ率と引張特性との関係

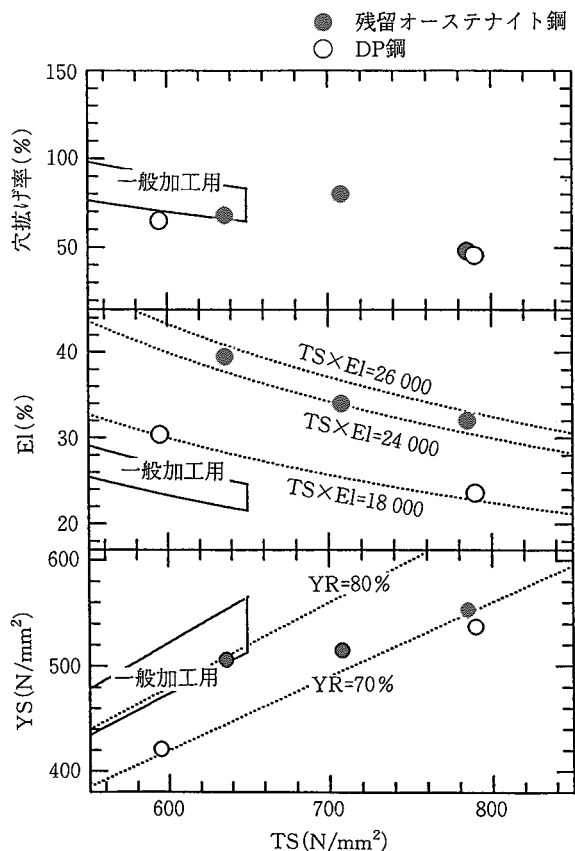
Fig.6 Relationship between hole expansion limit and tensile strength of hot rolled steel with high hole expansion property

3-2 高延性型熱延鋼板

ロアーアーム等の足廻り部品において一体成形化を行うためには高延性を示す材料が必要である。そこで、この要望に応えるべく低降伏比で高延性なDP鋼、そしてDP鋼よりもさらに延性が良好な残留オーステナイトを含有した熱延鋼板を開発した。ここでは加工誘起変態を示し他の鋼板よりも優れた延性を示す残留オーステナイト鋼について紹介する。

残留オーステナイト鋼の化学組成を第4表に示す。オーステナイトを室温においても安定させるためにC、Si、Mn、Alを適正量添加している。また強度調整は主にSiとAl量のバランスを制御して行っている。

590N/mm²級熱延残留オーステナイト鋼板の圧延直角方向のJIS 5号引張特性および穴抜け率を第7図に示す。また、平面歪変形下において100φ球頭張り出しを行った張出し高さを第8図に示す。残留オーステナイト鋼板は、穴抜け率については一般加工用ハイテンと同等であるが、優れた強度—延性バランスを示す。また張出し性については、440N/mm²級一般加工用鋼よりも優れた特性を有している。

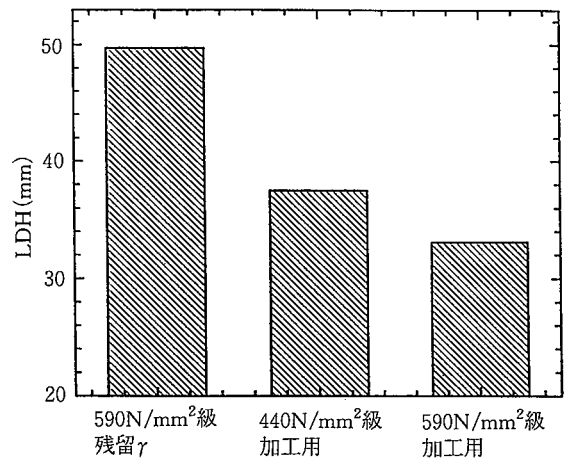


第7図 高延性型熱延鋼板の引張特性
Fig.7 Tensile properties of hot rolled steels with high elongation property

第4表 高延性型熱延鋼板の化学組成(mass%)

Table 4 Chemical compositions of hot rolled steels with high elongation property

強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他
590N/mm ² 級	0.13	1.0	1.5	<.025	<.005	Al
690N/mm ² 級	0.14	2.0	1.3	<.025	<.005	Al
780N/mm ² 級	0.17	2.0	1.5	<.025	<.005	Al



第8図 高延性型熱延鋼板の張り出し性
Fig.8 Stretchability of hot rolled steels with high elongation property

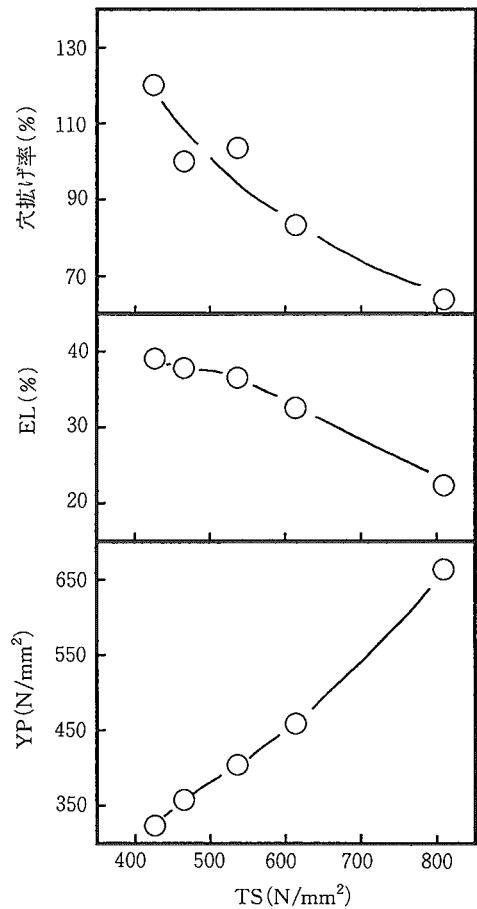
3-3 耐食型熱延鋼板

合金化溶融亜鉛めっき鋼板よりも安価で、耐食性を有する熱延鋼板として耐食型熱延鋼板を開発した。化学組成を第5表に、また圧延直角方向での引張特性と穴抜け性を第9図に示す。耐食性向上のため、Cu、Pを添加している。さらに耐食型熱延鋼板は高穴抜け型熱延鋼板と同じ思想で材質設計しており、Siを添加し穴抜け性を向上させている。なお本鋼板は370～780N/mm²までのシリーズ化を実施している。

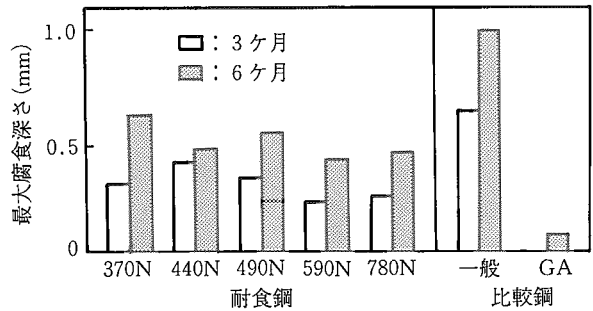
耐食性として塩水散布屋外暴露試験を実施した。試験後の最大腐食深さ測定結果を第10図に示す。一般鋼に比べ、大幅に耐食性が向上した。

第5表 耐食型熱延鋼板と比較鋼の化学組成 (mass%)
Table 5 Chemical compositions of hot rolled corrosion resistant steels

鋼種	強度レベル	C	Si	Mn	P	Cu	Ni	その他
耐食性	370N/mm ² 級	0.03	<0.1	0.11	0.07	0.39	0.17	
	440N/mm ² 級	0.04	0.3	0.45	0.06	0.35	0.17	
	490N/mm ² 級	0.05	0.8	0.97	0.07	0.37	0.19	
	540N/mm ² 級	0.06	0.8	1.09	0.07	0.31	0.23	
	590N/mm ² 級	0.07	0.8	1.44	0.08	0.37	0.18	
	780N/mm ² 級	0.06	0.9	1.32	0.07	0.41	0.19	Ti
一般	440N/mm ² 級	0.06	0.40	0.90	<.025	<.002		
GA 45/45		0.06	0.40	0.90	<.025	<.002		



第9図 耐食型熱延鋼板の引張特性と穴抜け性
Fig.9 Tensile and hole expansion properties of hot rolled corrosion resistant steels



第10図 耐食型熱延鋼板と一般鋼およびGA鋼板との最大腐食深さの比較
Fig.10 Maximum corrosion depth of hot rolled corrosion resistant steels, conventional steel and galvanized steel

4. ボディー／メンバー用高張力冷延鋼板

4-1 高成型型冷延鋼板

ドア、フェンダー、サイドメンバー等のボディ／メンバー部品の薄肉化による軽量化を図るためには、優れた深絞り性ならびに耐デント性を示す高張力鋼板が要求される。そこで、これらの要求に応えるべく高成型型冷延鋼板ならびに焼付硬化性を具備した冷延鋼板を開発した。また、フレーム等においては衝突時の衝撃を効率的に吸収する鋼板が望まれる。この衝撃吸収性能は衝突時の変形量と変形荷重によって支配されており、高延性で高加工硬化という材料特性が必要である。そこで、これらの特性を満足させるために残留オーステナイトの加工誘起変態を利用した高延性型冷延鋼板を開発した。これらの鋼板の化学組成を第6表に示す。高成型型ならびに焼付硬化型の化学組成は、高

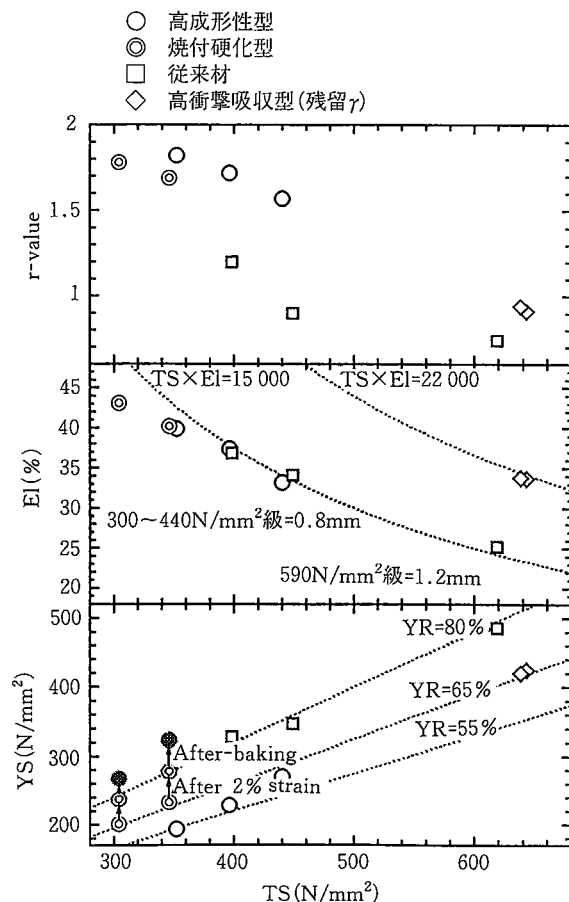
第6表 ボディ／メンバー用高張力冷延鋼板の化学組成 (mass%)
Table 6 Chemical compositions of cold rolled steels for body/member use

強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他	備考
300N/mm ² 級	<0.01	<0.01	0.13	0.015	0.006	Ti, Nb	焼付硬化型
340N/mm ² 級	<0.01	<0.01	0.15	0.052	0.006	Ti, Nb	焼付硬化型
	<0.01	<0.01	0.15	0.052	0.003	Ti, Nb, B	高成型型
390N/mm ² 級	<0.01	<0.01	0.35	0.075	0.003	Ti, Nb, B	高成型型
440N/mm ² 級	<0.01	<0.01	1.3	0.085	0.004	Ti, Nb, B	高成型型
590N/mm ² 級	0.13	1.0	1.5	<.02	<.005	Al	高延性型

r 値, 低YRを得るためにCをC<0.01とした極低炭素鋼をベースとして Mn, Pの固溶強化元素を添加し高強度化を実現している。Siについては合金化溶融亜鉛めっきにおけるめっき性を考慮し無添加である。高成型型については時効劣化の原因となる固溶Cをなくすために Ti, Nbを多量添加し, また焼付硬化型については固溶C量を適正に制御するために Ti, Nb添加量を適正に制御している。また, 高延性型は, オーステナイトを室温においても安定させるために Si, Mn, Al量を適正に制御している。

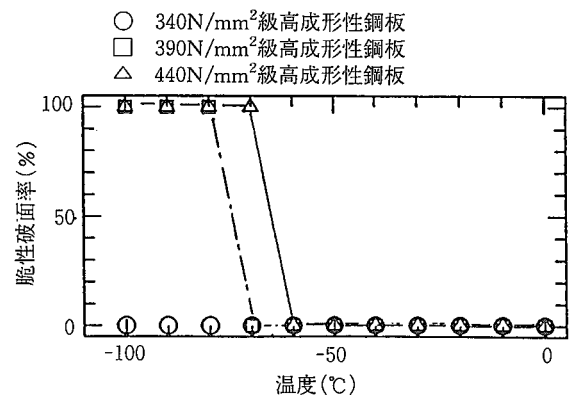
ボディ用高張力冷延鋼板の JIS 5 号引張りによる試験結果を第11図に示す。なお r 値は, 3 方向平均値を示している。また, 絞り比1.8に成形後の2次加工脆性を第12図に示す。高成型型冷延鋼板は, 従来のものに比べ低YP, 高r 値の特性を示している。また, 高純度化と固溶元素の多量添加により懸念される耐2次加工脆性においても良好な特性を示し, 実用上問題ない。高延性型である残留オーステナイト鋼は, 他の鋼種よりも優れた TS-El バランスを示している。

衝撃吸収特性は, 第13図に示すハット型閉断面構造成形品について 4 m/s の速度で高速圧壊試験を行った。第14図のような変位-荷重, 吸収エネルギー曲線を示し, 従来の

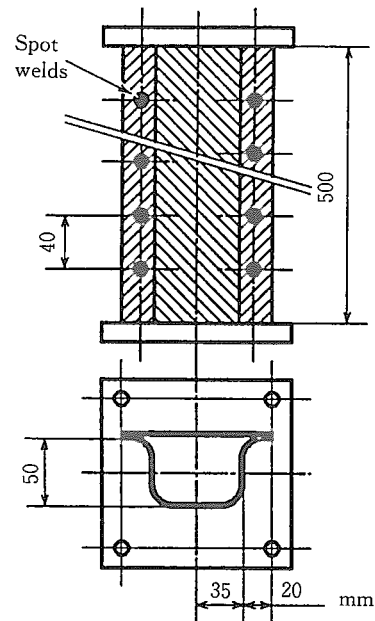


第11図 ボディー/メンバー用高張力冷延鋼板の引張特性
Fig.11 Tensile properties of cold rolled steels for body/member use

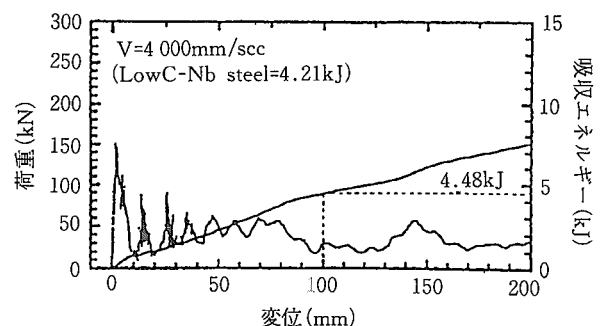
590N 級低炭素 Nb 鋼の吸収エネルギーが4.21kJ に対し高延性型の残留オーステナイト鋼は4.48kJ であり, 従来鋼に比べ高い衝撃吸収特性を示している。



第12図 ボディー/メンバー用高張力冷延鋼板の耐2次加工脆性
Fig.12 Brittle fracture ratio with deformation of cold rolled steel for body/member use



第13図 圧壊試験片形状
Fig.13 Illustration of model column

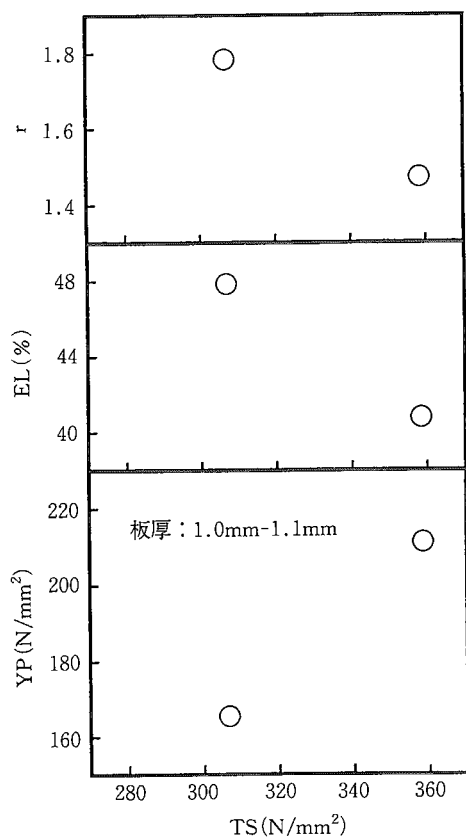


第14図 衝撃試験での変位-荷重曲線と変位-吸収エネルギー曲線
Fig.14 Relationship between load/absorbed energy and displacement through dynamic collapse

4-2 耐食型冷延鋼板

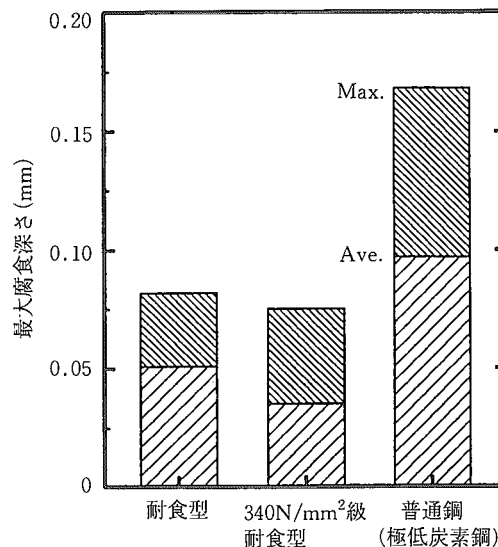
合金化溶融亜鉛めっき鋼板代替として、耐食型冷延鋼板を開発した。化学組成を第7表に、また圧延直角方向での引張特性を第15図に示す。耐食型冷延鋼板は極低炭化により優れた成形性を有する。

耐食性は、化成処理および3コート電着塗装後にクロスカットを施し、沖縄にて10ヶ月暴露試験を実施して評価した。評価値として、クロスカット部に沿って10分割して各分割部での最大腐食深さと最大塗膜膨れ幅を測定した。第16図、第17図にはその測定値の最大値と平均値を示す。普通鋼に比べ、耐食性の改善が認められる。



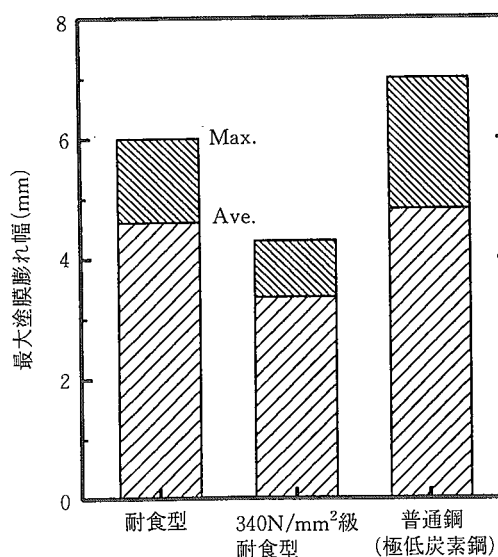
第15図 耐食型冷延鋼板の引張特性

Fig.15 Tensile properties of cold rolled corrosion resistant steels



第16図 耐食型冷延鋼板と普通鋼の3コート電着塗装後クロスカット部の腐食深さ

Fig.16 Maximum corrosion depth of corrosion resistant steels and conventional steel after E coat



第17図 耐食型冷延鋼板と普通鋼の3コート電着塗装後クロスカット部の塗膜膨れ幅

Fig.17 Maximum width of blister from scribe of cold rolled corrosion resistant steels after E coat

5. バンパー, ドアガードバー用高張力冷延鋼板

自動車の衝突安全対策、また車体重量増の対策として、超高強度鋼板の要望がある。超高強度鋼板としてマルテン

第7表 耐食型冷延鋼板の化学組成 (mass%)

Table 7 Chemical compositions of cold rolled corrosion resistant steels

鋼 種	C	Si	Mn	S	Cu	Ni	その他
耐食型	<0.01	<0.01	0.11	0.006	0.20	0.10	P, Nb, Ti
340N/mm²級耐食型	<0.01	<0.01	0.17	0.006	0.22	0.12	P, Nb, Ti

サイト体積率を多くした低降伏比型冷延鋼板を開発した。現在までに590～1180N/mm²級の低降伏比型高張力冷延鋼板をシリーズ化している。代表化学組成を第8表に示す。

引張特性と曲げ性については第18図に示す。この種の材料は曲げ加工される部品に供されることが多いため曲げ性が重要であるが、本開発鋼板では優れた曲げ性を具備している。

第8表 バンパー、ドアガードバー用高張力冷延鋼板の化学組成 (mass%)

Table 8 Chemical compositions of cold rolled steels for bumper/door guard bar use

強度レベル	C	Si	Mn	P	S	その他
590N/mm ² 級	0.09	0.1	1.3	<.025	<.005	
780N/mm ² 級	0.09	0.8	1.5	<.025	<.002	
980N/mm ² 級	0.15	0.1	2.5	<.025	<.002	Mo, V, Ti
1180N/mm ² 級	0.15	0.1	2.5	<.025	<.002	Cr, Ti

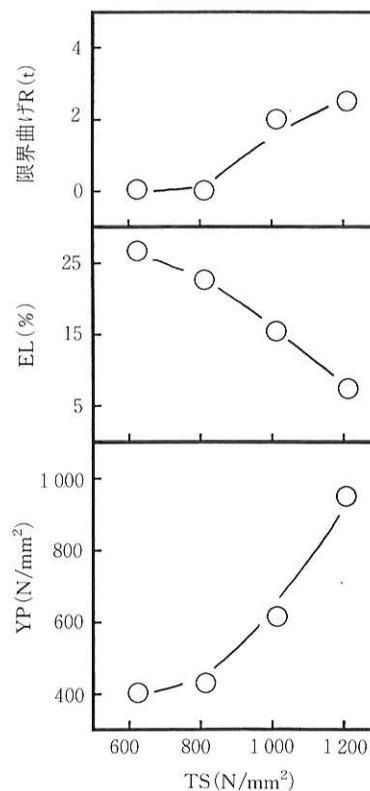
6. 住友規格との対応

今回報告した各高張力鋼板の強度レベルと住友規格との対応を第9表にまとめた。

7. まとめ

自動車各部品の必要特性を満足するために各種高張力鋼板の開発を行ってきた。これらの鋼板は使用部品の必要特性を十分に満足しており、自動車部品に適用することによ

り車体軽量化の促進ならびに衝突安全性の向上が期待される。



第18図 バンパー、ドアガードバー用高張力冷延鋼板の引張特性と曲げ性

Fig.18 Tensile and bending properties of cold rolled steels for bumper/door guard bar use

第9表 最近の特徴ある自動車用ハイテンの一覧

Table 9 Recent developed high strength sheet steels for automobile

製品	対象部品	特 徴	住友規格	引張強度 (N/mm ²)										
				300	340	370/390	440	490	540	590	690	780	980	1180
熱延鋼板	ホイール用	耐疲労型	SHA***B							○	○	○		
		良溶接性型	SHA***W							○	○	○		
	足廻り用	高穴掘り型	SHA***H				○	○	○	○	○	○		
		高延性型	SHA***S							○	○	○		
		耐食型	SHA***CR				○	○	○	○	○	○		
冷延鋼板	ボディ／メンバー用	焼付硬化型	RBH***	○	○									
		高成形性型	SCAF***X		○	○	○							
		高延性型	SCAF***S							○				
		耐食型	SCAF***C	○	○									
	バンパー／ドアガードバー用	低降伏比型	SCAF***D							○		○	○	○

注) 規格は、熱延、冷延裸の規格

問合せ先
鹿島製鉄所
技術総括部商品開発室
☎0299-84-2558 野村