

非調質加工用 80kg/mm² 高張力熱延鋼板 HTP80E80kg/mm² High Tensile Strength Hot Rolled Steel Sheets HTP80E
with Good Formability

高 橋 功*

Isao Takahashi

加 藤 俊 之**

Toshiyuki Kato

佐 藤 広 武***

Hirotake Sato

森 耐 介****

Taisuke Mori

Synopsis:

HTP80E, which has been newly developed, is characterized by excellent cold formability and rather small plane anisotropy in terms of forming and impact properties, as well as good weldability, notch toughness and fatigue strength. These improvements owe much to the combination of a new steel-making practice and controlled rolling technique. As HTP80E is rolled on hot strip mill without any subsequent heat treatment, it has better flatness and surface appearance and is more economical than ordinary quench-tempered steels.

1. 緒 言

近年、ホットストリップミルを用いて製造される非調質加工用熱延鋼板が各方面で使用されている。当社では「HTP」シリーズとして引張強さ 32~80kg/mm² 級の各種熱延鋼板を製造し、需要家の要請に応じている。このうち引張強さ 60 kg/mm² 級以下の鋼板は熱延のままの製品であるが、HTP80^U は熱延板に 700°C 以下のテンパー熱処理をほどこしたものであった。今回、当社では合金元素量を従来の HTP80 より少なくし、かつ熱延のまま 80kg/mm² 以上の引張強さを有する HTP80E を開発することに成功した。

HTP80E はホットストリップミルで製造され

るため、板厚精度が高く、表面が美麗でかつ形状性も良好である。また本鋼板は曲げ加工性、伸びフランジ性にすぐれ、かつ溶接性、衝撃特性および疲労特性のすべてにバランスのとれた鋼板であり、熱処理を行わないため、切板あるいはコイルのいずれでも需要家の要望にそうことができる。

以下に非調質加工用 80kg/mm² 高張力熱延鋼板 HTP80E の諸特性を紹介する。

2. HTP80E の規格および製造方法

表 1 に HTP80E の化学成分および機械的性質の規格を示す。HTP80E の溶製は純酸素転炉で行い、成形性および衝撃特性を向上させるため極低 S とする。さらに、Ti や Ce など酸素との

* 技術研究所薄板研究室主任研究員

*** 千葉製鉄所管理部薄板管理課掛長

** 技術研究所薄板研究室

**** 千葉製鉄所管理部薄板管理課

表 1 HTP80E の化学成分と機械的性質の規格
(a) 化学成分

(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	Ceq*
0.05~0.15	0.10~0.60	1.60~2.50	≤0.020	≤0.010	0.03~0.15	0.02~0.05	0.05~0.25	≤0.60

$$Ceq^* = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 (\%)$$

(b) 機械的性質

引張試験*			シャルピー衝撃試験**		曲げ試験***	
降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	試験温度 (°C)	衝撃値 (kg·m/cm ²)	曲げ角度 (deg)	曲げ半径 (R/t)
≥70	≥80	≥18	-5	≥4.5	180	1.5

* JIS Z 2201 5号試験片

** JIS Z 2202 4号試験片

*** JIS Z 2204 3号試験片

親和力の強い元素を添加する際、歩留まりを向上させ、かつこれらの元素の酸化物に起因する表面介在物の生成を防止する目的で、吹錬後 RH 脱ガス処理により鋼中 O を低減させ、またシール造塊法により注入流の酸化を防止するなど特別な処理を行う。

一方、機械的特性の変動をコイル全長にわたって最小限に抑えるため、ホットストリップミルによる熱間圧延時のスラブ加熱温度、圧延スケジュール、粗圧延および仕上げ圧延温度、仕上げ圧延後の冷却速度、コイル巻取温度などを厳正に管理している。

3. 母材の特性

HTP80E は板厚 8mm 以下の種々のサイズに

製造されるが、ここでは代表的な化学成分によって製造された板厚 4.5mm と 3.2mm の製品について各種試験結果を示す。

3・1 化学成分および顕微鏡組織

表 2 に試験に用いた 2 つのコイルの化学組成を示す。両者とも低 C-Mn-Nb-Ti-Ce 鋼である。加工性、溶接性および衝撃特性をすぐれたものにするために C を少なくしている。曲げ加工性を向上させるため S を極力少なくし、かつ Ce と Ti を添加することにより硫化物の形状を制御し、ホットストリップミルでの 1 方向圧延で欠陥の原因となりやすい A 系介在物を減少させている。このため、圧延方向に直角な方向 (T 方向) の曲げ加工性や衝撃特性のすぐれた鋼板が得られる。

さらに Ti, Nb はオーステナイトの再結晶を抑

表 2 供試鋼の化学成分

(%)

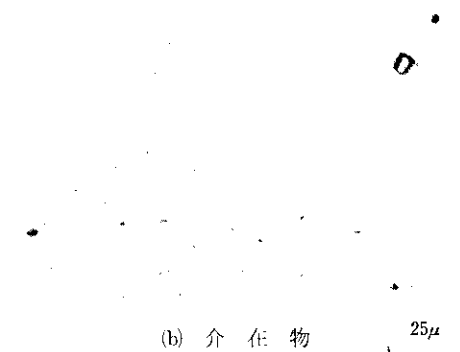
板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	Ce
4.5	0.12	0.22	1.98	0.010	0.006	0.037	0.044	0.138	0.009
3.2	0.11	0.26	1.83	0.014	0.004	0.042	0.040	0.148	0.006

制する効果をもたらすので最終製品のフェライト結晶粒は微細化し、それによっても強度および衝撃特性が向上する。またこの2つの元素は析出硬化作用もあるので、これも強度増加に寄与している。

4.5mm厚板の顕微鏡組織と介在物分布を写真1に示す。フェライト-パーライト組織に低炭素ベイナイトの混合したきわめて微細な組織であり、介在物はC系またはB系となっている。



(a) 顕微鏡組織



(b) 介在物

写真1 HTP80Eの顕微鏡組織と介在物

3・2 引張特性

表3に引張特性を示す。4.5mm厚の鋼板ではコイルの長さ方向 LE, M, TEの3位置、また3.2mm厚の鋼板では LE と TE の2位置で試験を行った。両コイルとも降伏点、引張強さ、伸びはいずれも規格値を十分満足しており、コイルの位置および試験方向による引張特性の変動が少ない。

表3 引張試験結果*

板厚 (mm)	コイル 位置	方向	降伏点 (kg/ mm ²)	引張強さ (kg/ mm ²)	伸び (%)
4.5	LE	L	73.2	85.9	24
		T	79.1	87.6	21
	M	L	76.1	83.8	23
		T	78.9	83.8	21
	TE	L	73.8	83.9	24
		T	76.3	85.6	23
3.2	LE	L	73.6	80.4	24
		T	77.3	83.2	21
	TE	L	75.3	80.2	23
		T	77.9	82.0	21

*JIS Z 2201 5号試験片

LE: コイル先端部, M: コイル中央部, TE: コイル後端部

L: 圧延方向, T: 圧延直角方向

3・3 衝撃特性

2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果を表4に示す。衝撃特性も引張特性と同様コイル内位置による変化が少ない。とくに試験方向による衝撃値および破面遷移温度 vT_{10} の差が小さく、かつ規格値を十分満足している。

3・4 加工性

加工用高張力鋼板に要求される曲げ加工性と伸びフランジ性について検討した。

曲げ加工性については JIS 3号試験片(試験片幅40mm)ならびに一部広幅試験片(試験片幅150mm)で曲げ試験を行った。図1に表2の鋼板のT方向の試験結果を示す。曲げ試験結果は良好で、厚さ3.2mm, 4.5mmの鋼板とも曲げ角度180°で曲げ半径1.0tまで十分耐えることがわかる。一般に鋼板の曲げ性は、試験片の幅が大きくなるほど変形の際の拘束が大きくなり苛酷になると言われているが、幅150mmの試片でも同様に良好である。

伸びフランジ性を評価する試験方法は数多くあ

表 4 2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果

板厚 (mm)	コイル位置	方向	$vE_{0^{\circ}C}$ (kg·m/cm ²)	$vE_{-20^{\circ}C}$ (kg·m/cm ²)	vT_{TS} (°C)
4.5*	LE	L	12.3	11.6	-80
		T	9.9	8.7	-90
	M	L	10.3	10.0	-108
		T	8.3	7.8	-102
	TE	L	12.7	11.2	-80
		T	9.3	8.5	-91
3.2**	LE	L	10.5	10.0	-120
		T	8.0	6.5	-125
	TE	L	11.0	11.0	-130
		T	9.5	8.5	-135

* 1/3サイズ (3.3mm×10mm×55mm) 試験片
 ** 特殊サイズ (3.2mm×10mm×55mm) 試験片

るが、ここでは穴拡げ、サイドバンド、切欠引張の3つの試験法を用いた。表5は4.5mm厚コイルのミドル部試片の結果を示す。穴拡げ試験は210mmφの鋼板の中心に直径10mmφのドリルホールをあけ、直径50mmφ、肩半径8mmのポンチと直径58mmφ、肩半径15mmのダイスを用い、しわ押し10tで穴拡げを行い破断時の穴径を測定した。穴拡がり率は100%近くを示し、50~60kg/mm²級鋼と同じである。

サイドバンド試験²⁾は当社が開発したもので、せん断端面で曲げ加工を行い、その部分の破断までの伸びを測定するもので、せん断部品の伸びフ

表 5 加工性試験結果 (4.5mm 厚コイル)

試験方法	評価方法	測定値
穴拡げ試験*	穴拡がり率	95%
サイドバンド試験**	伸び	L: 27%, T: 16%
切欠引張試験	伸び	T: 6%

* 穴径;10mm (ドリル加工)
 ** 曲げ軸は板面に垂直

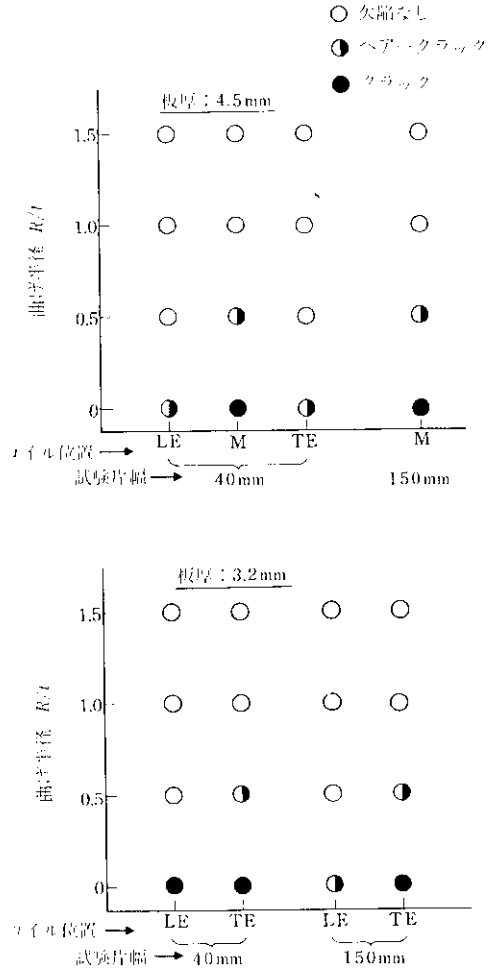


図 1 曲げ試験結果 (試片の方向: 圧延直角方向, 曲げ角度: 180°)

ランジ性を有効に評価しうる試験法である。サイドバンド伸びはT方向で16%もあり、80kg/mm²

鋼として非常に良好である。

切欠引張試験³⁾は JIS 5号引張試験片中央部に 2mmV ノッチを入れた試片を引張り、切欠伸びでプレス加工性を評価する方法であり、その結果 6%の伸びを示し、SAPH45 と同等の加工が可能である。通常の調質型の 80kg/mm² 鋼は 4.5%前後である。

以上の結果より、HTP80E は 80kg/mm² 級高張力鋼板としてすぐれた加工性を有しているといえる。

3・5 再加熱特性

加工用高張力鋼板の使用の際、加工時の歪とりなどのため高温に短時間加熱（いわゆるお灸）されることがある。そこで 4.5mm の板を 600°~1000°C に 10min 加熱後空冷および水冷を行い、引張試験と衝撃試験を行った。

図 2 に再加熱温度にともなう性質変化を示す。引張強さは A₃ 変態点以上の加熱により変化するが、その傾向は冷却速度によって相反しており、冷却速度を適当に選ぶことにより母材と同等の性質を再現できることを示している。一方、衝撃特性は再加熱処理により向上する。

4. 溶 接 性

HTP80E の溶接性を調べるため、厚さ 4.5mm の鋼板を用い被覆アーク溶接と MIG 溶接によって突合せ溶接継手を作成し各種試験を行った。溶

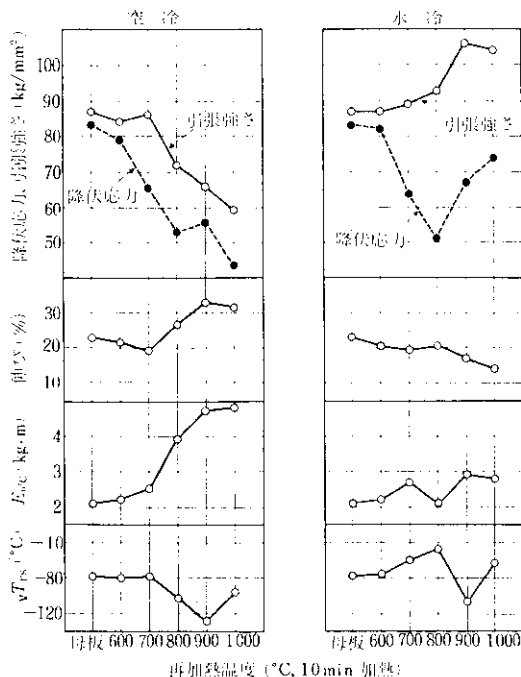


図 2 再加熱処理による機械的性質の変化 (板厚 4.5 mm, 圧延直角方向)

接条件を表 6 に示す。なお母材の圧延方向と溶接線が直角になるように溶接を行った。

4・1 硬さ分布

被覆アークおよび MIG 溶接による溶接継手の断面の硬さ分布を図 3 に示す。いずれも溶接にともなう硬化および軟化は小さく、すぐれた溶接性を示している。

表 6 溶 接 条 件

溶 接 法	開 先 形 状	溶接ワイヤ または棒	層 数	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	ガス流量 (l/min)		入熱量 (J/cm)
							Ar	CO ₂	
被覆アーク		KS116 (3.2mmφ)	2	110	20	20			13 200
MIG		KM80 (1.2mmφ)	1	280	25	55	18	2	7 636

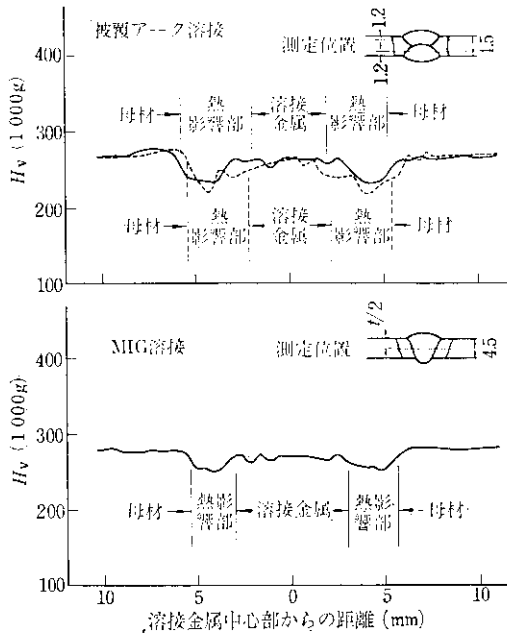


図3 溶接継手の硬さ分布

4.2 溶接継手の引張、曲げ特性

溶接継手の引張試験結果を表7に、そして曲げ試験結果を図4に示す。引張試験では母材もしくは熱影響部で破断しているが、引張強さはいずれ

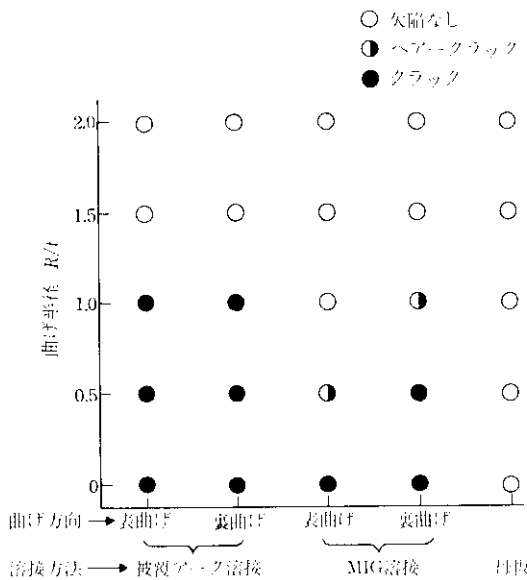


図4 溶接継手の曲げ試験結果 (曲げ角度 180°)

表7 溶接継手の引張試験結果*

溶接方法	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置
被覆アーク	—	82.6	18	母材
	—	82.7	18	熱影響部
MIG	—	82.5	18	熱影響部
	—	81.7	18	母材

* JIS Z 2201 5号試験片

も規格値の 80kg/mm² を満たしている。また伸びも18%で十分な延性を示している。

曲げ試験片は幅 40mm で行ったが、母材に比べてやや曲げ性は劣化するものの各溶接法とも180°の表曲げ、裏曲げとも曲げ半径 1.5t まで良好で欠陥は発生しない。

4.3 衝撃特性

各溶接継手の衝撃特性を調べるため、図5に示す位置に 2mmVノッチを入れた1/2サイズのシャルピー試験片で衝撃試験を行った。その結果を表8に示す。ポンド部の遷移温度がやや高いが、0°C における衝撃値はいずれも 12kg·m/cm² 以上と高く、他の位置では衝撃値、遷移温度とも良好である。

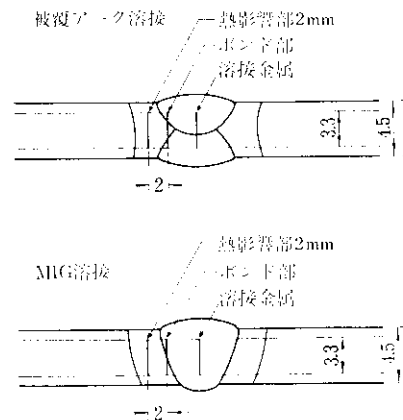


図5 溶接継手の衝撃試験片の 2mmVノッチ位置

表 8 溶接継手の 2mmVノッチ衝撃試験結果

溶接方法	ノッチ位置	$\sqrt{E_0 C}$ (kg·m/cm ²)	$\sqrt{E_{-20} C}$ (kg·m/cm ²)	$\sqrt{T_{rs}}$ (°C)
	溶接金属	12.9	11.4	-82
被覆アーク	ボンド部	13.6	9.8	-35
	熱影響部	13.6	11.7	-60
	溶接金属	12.9	12.9	<-80
MIG	ボンド部	12.6	8.7	-30
	熱影響部	12.4	12.2	-110
	母材*	10.3	10.0	-108

* L 方向

1/3 サイズ (3.3mm×10mm×55mm) 試験片

5. 疲労特性

母材および溶接継手の疲労特性について、25 kg·m のシェンク平面曲げ試験機を用い、速度 3000cpm で両振曲げ試験を行い、S-N 曲線を求めた。

図 6 に各種試験片の S-N 曲線を示す。母材の疲労限は、試片表面を研削仕上げしたもので 51 kg/mm²、また黒皮のまま (スケール付着) で 35 kg/mm² と高い値である。また疲労限の切欠感受性を調べるため、黒皮のままの母材疲労試験片の中央部両端に 2mmV の断面ノッチを入れて試

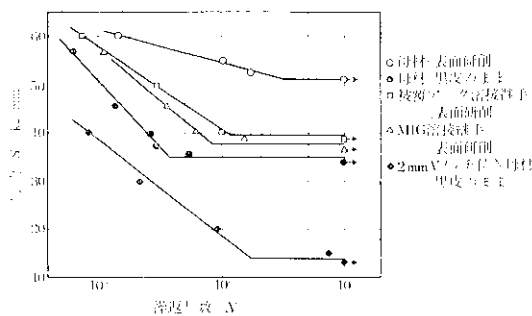


図 6 疲労試験結果 (繰返し曲げ, 試験速度 3000cpm)

参考文献

- 1) 安田, 片伯部: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 3,70

験した。その疲労限は 14kg/mm² であり、これは母材の疲労限 35kg/mm² の 40% にあたり、破断係数 β は 2.5 となる。これは平面曲げの応力集中係数 $\alpha \approx 7^D$ より小さく、切欠感受性は小さいといえる。

一方、溶接継手の疲労限は被覆アーク溶接、MIG 溶接のいずれの場合でも 37~40kg/mm² で良好である。

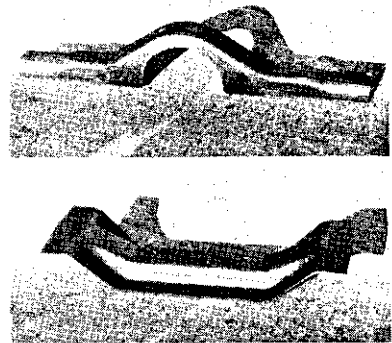


写真 2 HTP80E を用いた自動車部品

6. 総括

非調質加工用 80kg/mm² 高張力熱延鋼板 HTP 80E は添加元素が少ないにもかかわらず、すぐれた加工性、溶接性、衝撃性および疲労特性をもち、とくに曲げ加工性、衝撃特性の面内異方性が少ない。また熱延のままの鋼板であるため形状性も良く表面も美麗である。

写真 2 に HTP80E の使用の一例として成形された自動車部品を示すが、すぐれた成形性を有していることが明らかである。

今後産業機械はもちろん自動車 (主としてトラック) や車輛の分野においても軽量化がますます要請されることが予想され、本鋼板の広範な利用が期待される。

最後に HTP80E の溶接に御協力いただいた溶接研究室に謝意を表す。

- 2) 中島：日本特許，特公昭50-35438号
- 3) 権田，谷，山口，小指，能勢，池山：日本鋼管技報，(1971) 56, 289
- 4) 西田：応力集中，(1967)，577，〔森北出版〕

