

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.4 (1972) No.3

極厚調質 80 キロ高張力鋼

The Heavy Plate of Quenched and Tempered Steel with 80kg/mm² Tensile Strength

船越 督己(Tokushi Funakoshi) 坪井 潤一郎(Junichiro Tsuboi) 安田 達(Tohoru Yasuda) 猪又 克郎(Katsuro Inomata) 青木 真一(Shinichi Aoki)

要旨：

極厚調質高張力鋼板の用途は、圧力容器、ペンストック、産業機械、土木構造物などの多岐にわたり、とくに土木構造物では板厚 50～100mm 極厚鋼板の需要の増加が予想される。このような状況に対処するため極厚調質高張力鋼板の製造方法について種々検討した結果、従来の鋼材よりも安定した製造工程により、低炭素当量で溶接性がよく、しかも全板厚にわたり均質で良好な靱性をもつ板厚 100mm までの鋼板の製造が可能になった。本報告では大阪南港連絡橋用に開発された 80kg/mm² 級極厚板の製造上の考え方と製造実績についてまとめた。

Synopsis：

Quenched and tempered high tensile strength steel plates with large thickness are now widely used for civil structures such as long span bridges, penstocks, industrial machines. Good weldability, high notch toughness and homogeneous mechanical properties in the thickness direction are required for these plates. This paper describes fundamental experiments, manufacturing process and mechanical properties of HT-80 heavy plates for NANKO Bridge, in Osaka.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

極厚調質80キロ高張力鋼

The Heavy Plate of Quenched and Tempered Steel
with 80 kg/mm² Tensile Strength

船越 督巳*

Tokushi Funakoshi

坪井 潤一郎**

Junichiro Tsuboi

安田 達***

Tohoru Yasuda

猪又 克郎****

Katsuro Inomata

青木 真一*****

Shinichi Aoki

Synopsis :

Quenched and tempered high tensile strength steel plates with large thickness are now widely used for civil structures such as long span bridges, penstocks, industrial machines. Good weldability, high notch toughness and homogeneous mechanical properties in the thickness direction are required for these plates. This paper describes fundamental experiments, manufacturing process and mechanical properties of HT-80 heavy plates for NANKO bridge, in Osaka.

1. 緒 言

調質高張力鋼の用途は圧力容器、産業機械、土木構造物などの多岐にわたり、とくに土木構造物では板厚 50~100mm の極厚鋼板の需要の増加が予想され、その需要の中心は長大橋の建設にある。アメリカで最近建設されたおもな橋梁としては Auburn Foresthill 橋、Chester-Bridgeport 橋などがあり、その構造設計、工法などに興味がある点が多く、とくにその主要部材に板厚 100mm 程度の極厚80キロ高張力鋼板が簡単な構造で使用されている点が注目される。

当社の極厚調質高張力鋼板 (RIVER ACE 70 と KO) は ASTM-A 514 あるいは A 517 として最大板厚 102mm までを Auburn Foresthill 橋用として約 1140 t の製造実績をもっている。一方国内では、本州四国連絡橋の建設が世界的にも例をみない超大型規模で計画中であるが、アメリカの例と同様な構想の橋梁として阪神高速道路公団が大阪に南港連絡橋を建設しつつある。この橋は中央径間 510m、全長 980m のゲルバートラス橋であり、鋼材の総計約 36,000 t のうち約 5,000 t の 70キロと 80キロの高張力鋼が使用され、70、80キロ鋼がはじめて* 本格的に採用された橋梁として注目される。同公団より鋼材に対し要求された材

* 技術研究所厚板研究室室長

*** 千葉製鉄所管理部厚板管理課課長

***** 本社技術開発部技術開発室課長

** 技術研究所溶接研究室室長

**** 水島製鉄所管理部厚板管理課課長

Table 1 Required properties for NANKO HT-80

Thickness (mm)	Fundamental premise				Chemical composition			Mechanical property				Weldability		
	Brittle fracture initiation temp. (°C)	Pre-heat temp. for welding (°C)	Max. heat input (kJ/cm)	vT_s in weld bond (°C)	C (%)	P, S (%)	C_{eq} (%)	Y. P (kg/mm ²)	T. S (kg/mm ²)	vE_{35} (kg·m)	vT_s (°C)	Hmax.	Pre-heat temp. of preventing crack (°C)	Bead bend test Bending angle
50 max.	-15 max.	100 max.	50	$\begin{matrix} 0 \\ (vT_E 0^\circ C) \end{matrix}$	0.14 max.	0.03 max.	0.53 max.	70 min.	80-95	4.8	$\begin{matrix} -35 \text{ max.} \\ (vT_E 35) \end{matrix}$	420 max.	100 max.	WES
50-100	-15 max.	150 max.	40	$\begin{matrix} 0 \\ (vT_E 0^\circ C) \end{matrix}$	0.16 max.	0.03 max.	0.56 max.	68 min.	78-93	4.8	$\begin{matrix} -35 \text{ max.} \\ (vT_E 35) \end{matrix}$	430 max.	100 max.	WES

質は Table 1 に示すように¹⁾ 化学成分、切欠靱性、溶接性ともに従来の規格にくらべかなり厳しいものである。

本報では南港連絡橋用に開発された極厚鋼板の製造上の考え方と製造実績をまとめた。

2. 鋼板製造方針

橋梁用極厚鋼材に要求される重要な特性の一つとして良好な溶接性があげられ、その化学成分は溶接硬化性に関する炭素当量 (C 当量 = $C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 + (Cu/13)\%$) を低くおさえる必要がある。一方極厚鋼板の板厚表層部から中心までの均質性と良好な靱性を確保するためには、十分な焼入れ硬化性が必要となる。

C 当量を増加せずに焼入れ硬化性をあげ、板厚中心部での良好な靱性をうるためには

- (1) 焼入れ冷却速度の増加
- (2) 化学成分の改良による焼入れ性向上
- (3) 靱性に有害な元素の除去

などが考えられる。中心部での焼入れ冷却速度を増加するための方法として、たとえば表面スケールの除去や無酸化加熱などによる冷却効率向上も考えられるが、焼入れ設備の冷却能力に負う要因が多い。C 当量を増加せずに焼入れ硬化性を向上させる方法として主要元素の配合比を変え、C 当

量式への寄与率の少ない Ni, Si, V, Cu などを多量に利用することが考えられるが、添加元素のコスト、靱性への悪影響などを考慮するとおのずから限界がある。また C 当量式に含まれず、焼入れ硬化性を向上させ、靱性あるいは溶接性への悪影響のない元素の利用も考えねばならず、とくに B の有効利用は後述のように非常に重要である。

P はシャルピー衝撃試験での遷移温度を上昇させるし、S は吸収エネルギーの飽和値を低下させるためいずれも少ないことが望ましい。しかし鋼材の大量生産に対処するためには転炉での溶製を前提とする必要もあり、経済性も考慮して、 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.010\%$ を目標にして製造することにした。なお調質鋼の遷移温度はこれら不純物元素の減少による効果よりも調質条件がより重要な因子であることを著者らはすでに確認している。V の多量添加は溶接性、靱性の観点から好ましくなく、経験的には 0.05% 以下にしぼられる。C 当量式での係数が小さく靱性向上に有効な元素、たとえば Ni の多量添加は経済的理由によって限定されるし、また 1% 以上 2% 以下では添加による顕著な靱性改善効果はみとめられない。

これらの事項を考慮し、今回の極厚鋼板の製造に際しては過去の実績を参考として焼入れ冷却速度の増加と化学成分的には B の有効利用とそれに必要な元素の再検討および熱処理方法について種々検討のうえ工程を決定した。

3. 冷却速度

一般に焼入れ冷却速度を速くして硬化を図れば、焼もどし後の靱性は良好であると考えられていた。そこで焼入れ冷却速度を速めるため水島お

* 80 キロ鋼の道路橋への適用例としては、すでに 1964 年に京葉道路の花輪橋にわずかではあるが本邦ではじめて使用されており、全鋼材重量 36 t のうちの 80 キロ高張力鋼分の 9 t 全量に当社 RIVER ACE KO が使用されている。また 1971 年に建設された当社千葉製鉄所構内の鉄道橋にも同鋼約 40 t が主桁材として用いられている²⁾。

よび千葉製鉄所厚板工場の連続式焼入れ設備の改造および水圧水量の増加などによって大幅な冷却能力の向上をはかった。Fig. 1 は板厚 50, 75,

100 mm の板厚中心部での焼入れ冷却速度の例を示している。

Fig. 2 はC当量 0.50%の板厚 50mm 用の化学

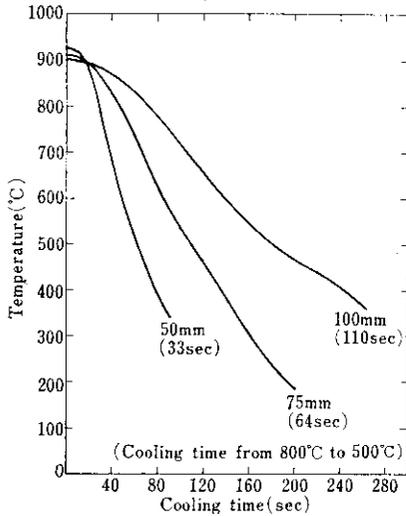


Fig. 1 Examples of quenching speed at the middle of plate thickness

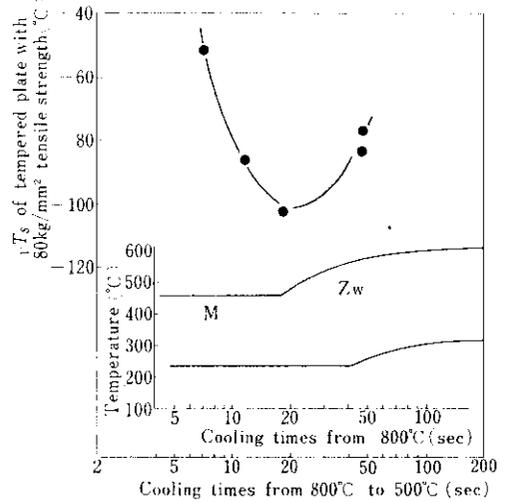
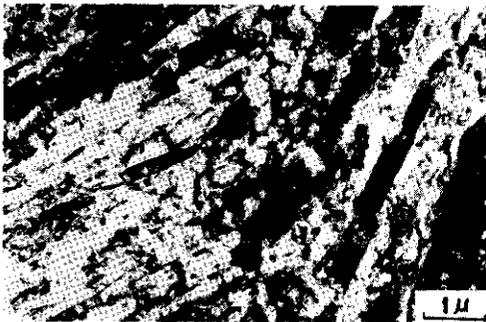
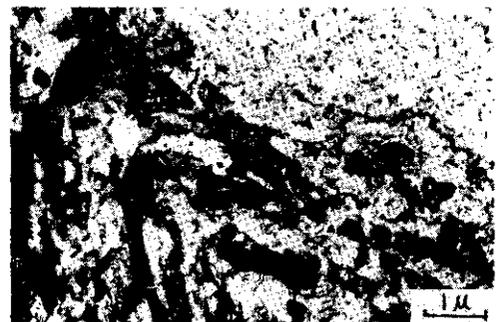


Fig. 2 Relation between C. C. T. curve and νT_S (fracture appearance transition temp.) of HT-80 quenched at various cooling rates and then tempered

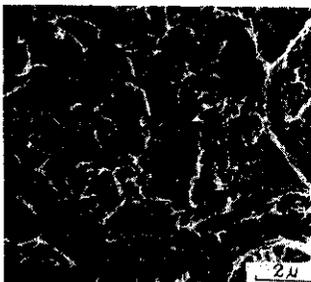


(a) Quenched suitably

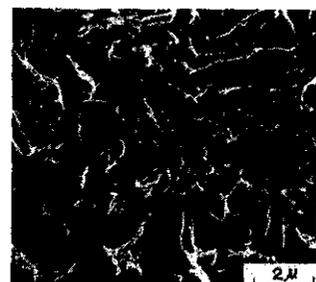


(b) Quenched too fast

Photo. 1 Electron microstructures of tempered martensite quenched in various rate



(a) Quenched suitably



(b) Quenched too fast

Photo. 2 Fractured surfaces of Charpy V notch specimen at -120°C of tempered martensite quenched in various rate

成分をもった RIVER ACE KO 鋼の C.C. T. 図と鋼板製造時の焼入れ冷却に対応する各種冷却速度で焼入れたのち引張強さが 80 kg/mm^2 になるように焼もどした場合のシャルピー衝撃試験での破面遷移温度 (vT_s) を示している。すでに報告されている³⁾ ように靱性が最良の値を示す組織は、その冷却曲線が中間組織 (Z_w) 域を通過し、マルテンサイトと少量のペーナイトが混在する状態を焼きもどした組織であり、冷却速度が遅すぎてももちろん、速すぎても靱性は悪くなる。Photo. 1 と Photo. 2 は冷却が適正なものと同速すぎるものの電子顕微鏡組織と -120°C でのシャルピー衝撃試験片の破面の走査型電子顕微鏡写真の例である。適正冷却材ではもとのオーステナイト粒内のサブ組織がち密であり、冷却が速すぎると、焼きもどされたマッシュマルテンサイトがみられ、また適正冷却材の破面の単位が冷却の速すぎた試験片のそれより小さいことがわかる。したがって冷却速度の速い板厚表層部も、また冷却速度の遅い板厚中心部も、この最適冷却条件を満足している場合、極厚鋼板でも全板厚にわたって均質で良好な靱性をうることができる。

一方冷却速度と C.C. T 図を決定する化学成分は相対的な関係にあるから、各板厚での冷却速度に対する適正化学成分 (C 当量) が存在し、すなわち速い冷却には低い C 当量が適合するわけであり、この適正な関係の選択が材質をきめる鍵になる。また後述のような焼入れ硬化性改良に有効な熱処理法をも組み合わせると、さらに C 当量を低下できる可能性がある。

4. 化学成分

化学成分に関しては 2 項で述べたような理由によって従来にくらべ大幅な合金元素の配合率の変更はできない。そこで、従来の電炉生産を大量受注時の能率向上を考慮し転炉生産とした場合に問題となる N 含有量の影響調査をかねて、B の効果について検討した。

鋼中に存在する原子状態の B は微量で焼入れ硬化性を格段に高めるが、B 窒化物になっていると効果がないことが知られている。一般にその窒化

防止のため B より窒化傾向の強い Ti または Zr を添加して N を固定する。焼入れ硬化性に有効な B について

$$B_{\text{eff.}} (\%) = B_{\text{total}} - \{(N_{\text{total}} - 0.002) - \text{Ti}/5 - \text{Zr}/15\}$$

の関係が求められている⁴⁾。Fig. 3 は $B_{\text{eff.}}$ とジョミニー焼き入れ硬化性曲線、Fig. 4 は Ti 含有量と焼き入れのままの引張強さ、シャルピー衝撃特性値 (vT_s , vE_0) の関係を示しており、Fig. 5 は同じく B 含有量の機械的性質におよぼす影響を

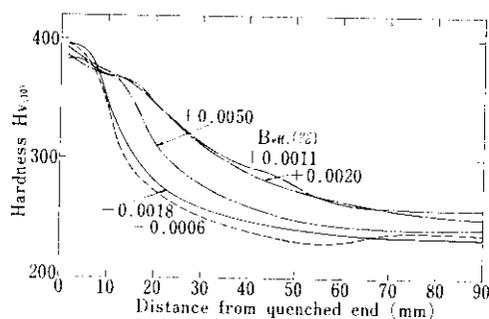


Fig. 3 Effect of $B_{\text{eff.}}$ % on Jominy hardenability

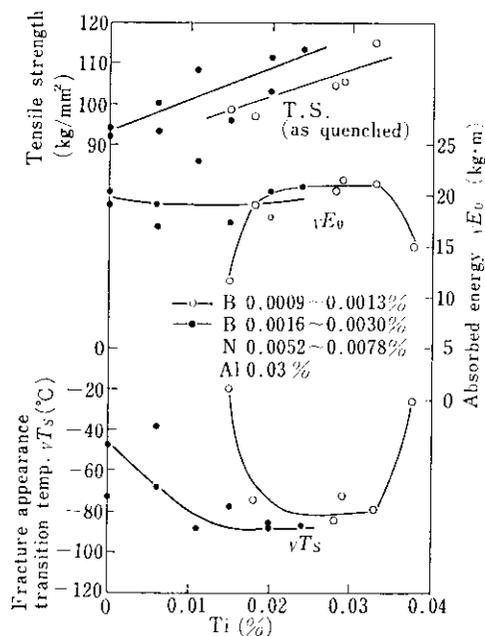


Fig. 4 Effect of Ti % on hardenability and notch toughness

Table 2 Chemical composition of the material used

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	B	N	C _{eq.}
0.11	0.25	0.85	0.010	0.008	0.20	1.00	0.45	0.45	0.03	*	*	*	*	0.49

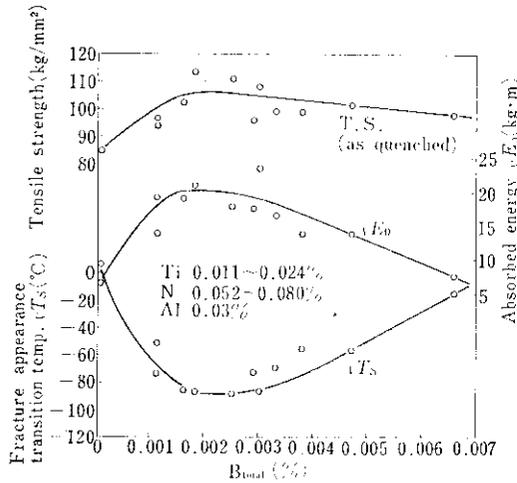


Fig. 5 Effect of B % on hardenability and notch toughness

示している。これらはいずれも Table 2 に示す板厚50mm を想定した基本成分系において B, Ti, N を調整した鋼材を用いた。Fig. 4 と Fig. 5 は 800°C から 500°C の温度範囲を 35sec で焼き入れし、そのまま JIS 4 号試験片を用いて行なった引張試験結果と、さらに引張強さを 80~83 kg/mm² になるよう焼きもどしたのち JIS 4 号試験片を用いて行なった衝撃試験結果を示す。これらの図から B_{crit.} と焼き入れ硬化性の関係は明りょうであり、過剰の B 添加は焼き入れ硬化性を減少さ

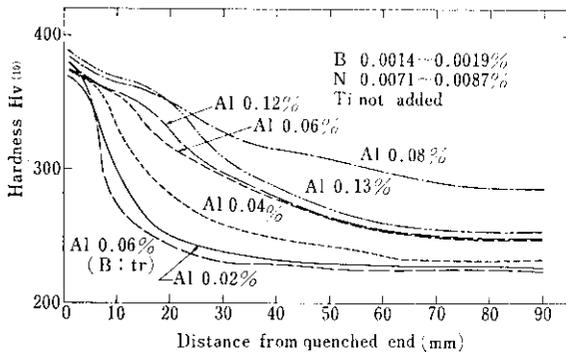


Fig. 6 Effect of Al % Jominy hardenability

せるので B 添加量を必要最小限におさえ、その有効活用のため Ti をやや多量に添加した成分系が好ましい。しかし、炭化物形成元素である Ti も多量に過ぎると、靱性を劣化させるので、実際の大量生産のときには大型溶解炉での精錬時の N 含有量のバラツキや B, Ti の歩止まりなどを考慮すると工程的に安定して生産するには Ti の利用には問題がある。Zr も Ti と同じく炭化物形成元素であり、同様のことが考えられ、その使用は好ましくない。

N 固定用元素としては Ti, Zr のほかに Al, V があるが、後者の二元素の窒化力は前者に劣る⁹⁾。しかし溶解度積を検討すると、Al, V の場合でも多量の固溶元素を存在させた状態では B を固溶しうることがわかる。Fig. 6, Fig. 7 は Table 2 の基本成分での Al 含有量とジョミニー試験による硬化性特性曲線および機械的性質の関係であり、Al が 0.055% 以上では焼き入れ硬化性は向上し、靱性も良好であることがわかる。ジョミニー

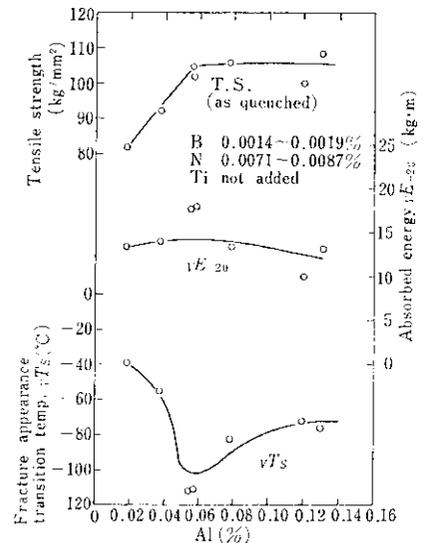


Fig. 7 Effect of Al % on hardenability and notch toughness

曲線での焼き入れ硬化性は0.08%のAlで最大となり、それ以上のAlの添加は焼き入れ硬化性を減少させると同時にオーステナイト粒の粗大化をひきおこし靱性を劣化させる。また実際の大量生産の時のNのバラツキやAlの歩止まりを考慮しても固溶Alを靱性に対して無害な範囲内にとどめることは容易であり、安定した材質を製造できる。またこのような性能は Fig. 6 からわかるようにB無添加ではえられず、Al単味の効果ではなく、低炭素当量の化学成分系でのBとの複合効果であることが理解できる。なおAlより窒化力の弱いVについてはさらに多量の添加が必要になり、固溶Vの靱性への悪影響を考慮すると使用できない。

Fig. 8 はこのような80キロ鋼について、靱性が良好になる焼き入れ組織、すなわちおよそ320Hvの硬さを示す位置のジョミニー試験片焼き入れ端からの距離およびそこでの冷却速度に対応する実際の鋼板の板厚中心部の冷却速度とC当量の関係である。図は板厚100mmではC当量0.52%、75mmでは0.48%で製造しうる可能性を示している。

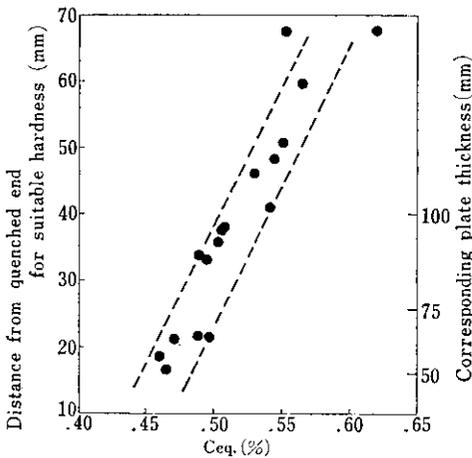


Fig. 8 Relation among C_{eq} , hardenability and plate thickness

5. 繰り返し焼き入れ

Fig. 9 は板厚50mm相当の2種の鋼材について、焼き入れ処理を繰り返し行なった後の焼き入れの

ままの引張強さと81~85kg/mm²の引張強さになるように焼きもどした状態での衝撃特性(vE_{-40} と vTs)を示している。鋼材AおよびBのC当量はいずれも0.49%であるが、Fig. 10 にみられるように鋼材Aの焼き入れ硬化性は鋼材Bのそれにくらべやや劣っている。鋼材A、Bともに焼き入れ処理の繰り返しによって焼き入れのままの引張強さは上昇し、とくに焼き入れ硬化性のやや劣っている鋼材Aではこの傾向が顕著である。一方鋼

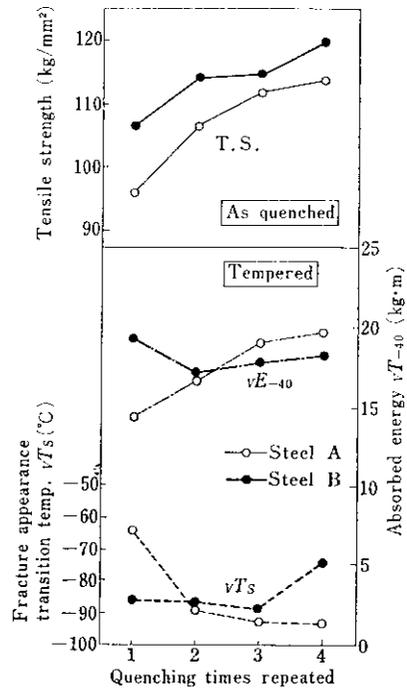


Fig. 9 Change in mechanical properties due to repeated quenching

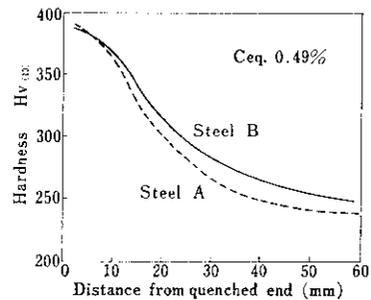
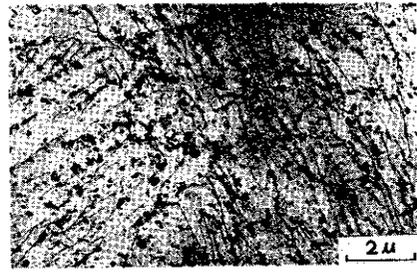


Fig. 10 Jominy curves of steels used in the repeated quenching test



(a) Single quenched



(b) Double quenched

Photo. 3 Election microstructures of the quenched and tempered steel (extraction replica)

材Aの焼きもどし後の切欠靱性は1回焼き入れ時にくらべ2回焼き入れによっていちじるく向上し、その後の繰り返し焼き入れではほとんど変化しない。

80kg/mm²鋼として良好な靱性をうるに必要な焼き入れ組織(硬さ320Hv, T.S. 105kg/mm²)が1回の焼き入れによって得られる鋼材Bでは、繰り返し焼き入れによる靱性改良効果はみられず、極端な繰り返し焼き入れではかえって靱性が劣化する現象もみられる。このように繰り返し焼き入れは焼き入れ硬化性がやや不足する鋼材について有効であり、すなわち板厚表層部から $\frac{1}{4}t$ 部にかけて冷却速度が適正であり、板厚中心部ではやや不足する低C当量の極厚鋼板の板厚中心部の切欠靱性の改良に効果があるといえる。Photo. 3は鋼材Aの1回焼き入れ材と2回焼き入れ材の抽出レプリカ法による電子顕微鏡組織である。1回焼き入れ材でみられるもののオーステナイト粒界に存在する炭化物は、2回目の焼き入れでは粒内に均一分散すると同時に、またサブ組織もち密になる傾向がみられる。

この焼き入れ硬化性改良効果の原因は明らかでないが、前の焼き入れで生じた微細組織および格子欠陥が、つぎの焼き入れの際の変態挙動に対して影響するためと考えられる。

6. 製造実績

前述の基礎的な資料をもとに製造された板厚75mmと100mmの板厚鋼板の諸特性をまとめた。

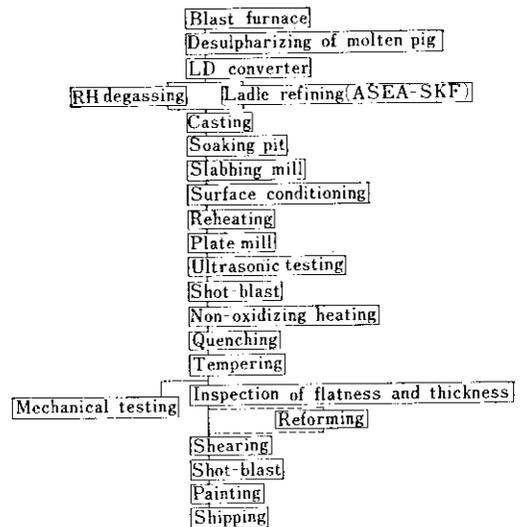


Fig. 11 Flow chart of manufacturing process of heavy HT-80 plate using LD converter

75mm材では板厚中心の材質を若干犠牲にした低C当量の鋼種も同時に示した。なおFig. 11に転炉溶製材の標準製造工程のフローチャートを示す。とくに溶銑脱炭、溶銑脱ガス、鋼塊および鋼片の加熱、焼き入れ、歪矯正などの工程に留意している。

6-1 母材の化学成分と機械的性質

Table 3は化学成分と製造履歴の概略を示す。溶接硬化性を示すC当量値、溶接割れ感受性組成 P_{CM} 値(P_c 値⁹⁾より拡散性水素量および板厚の項を除いた値)はいずれも低く、極厚HT-80として良好な特性が期待できる。Table 4は機械的性質

Table 3 Chemical compositions (ladle, wt %) and manufacturing process of heavy RIVER ACE KO plates

Thickness (Symbol) (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Al	C _{eq}	P _{eq}	Manufacturing process					
															Charge No.	Melting furnace	Ingot	Rolling ratio	Quenching temp.	Tempering temp.
75(a)	0.11	0.32	0.81	0.010	0.007	0.24	1.00	0.40	0.38	0.031	0.0021	0.088	0.460	.249	12-4897	85t LD converter	20 t	8.5	930°C	630°C
75(b)	0.12	0.25	0.85	0.013	0.010	0.23	0.98	0.42	0.46	0.031	0.0019	0.069	0.492	.263	11-4124	85t LD converter	20 t	8.5	930°C	640°C
75(c)	0.14	0.30	0.83	0.007	0.005	0.24	1.23	0.45	0.52	0.034	0.0014	0.059	0.542	.291	63-4986	15t electric furnace	20 t	8.5	930°C	660°C
100	0.15	0.28	0.80	0.007	0.006	0.24	1.24	0.47	0.52	0.033	0.0015	0.078	0.552	.301	37-0041	30t electric furnace	30 t	9.3	930°C	660°C

$$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/13 (\%)$$

$$P_{eq} = C + Si/30 + Mn/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + Cu/20 + 5B (\%)$$

Table 4 Mechanical properties of heavy RIVER ACE KO plates

Thickness (Symbol) (mm)	Position	Direction	Tension test (JIS No. 4)			Impact test (JIS No. 4)		
			Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	vE_{35} (kg·m)	vT_F (°C)	vT_S (°C)
75(a)	Surface	L	—	—	—	23.1	-88	-94
		C	—	—	—	21.4	-105	-101
	$\frac{1}{4}t$	L	80	84	25	23.6	-82	-88
		C	—	—	—	22.3	-93	-90
	$\frac{1}{2}t$	L	76	82	24	20.5	-54	-49
		C	—	—	—	19.1	-45	-44
75(b)	Surface	L	77	81	27	20.1	-86	-95
		C	—	—	—	18.5	-83	-83
	$\frac{1}{4}t$	L	77	82	26	19.9	-88	-89
		C	75	81	26	17.2	-81	-81
	$\frac{1}{2}t$	L	76	82	26	19.9	-74	-76
		C	—	—	—	17.4	-68	-68
	Z	75	81	21	—	—	—	
75(c)	Surface	L	78	84	26	21.3	<-120	<-120
		C	—	—	—	15.6	-75	-75
	$\frac{1}{4}t$	L	78	84	27	21.9	<-120	<-120
		C	78	82	26	15.9	-117	-116
	$\frac{1}{2}t$	L	75	81	26	21.7	<-120	<-120
		C	—	—	—	15.2	-80	-75
	Z	75	81	19	6.1	-36	-36	
100	Surface	L	73	82	27	13.2	-57	-61
		C	—	—	—	9.4	-49	-57
	$\frac{1}{4}t$	L	74	81	27	15.5	-73	-78
		C	73	82	25	12.0	-70	-76
	$\frac{1}{2}t$	L	71	80	27	13.2	-66	-79
		C	—	—	—	11.2	-73	-71
	Z	70	80	18	—	—	—	

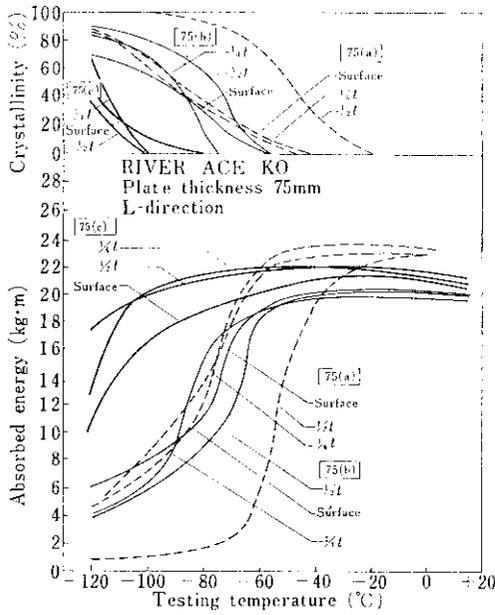


Fig. 12 (a) Charpy V notch transition curves of heavy RIVER ACE KO plate

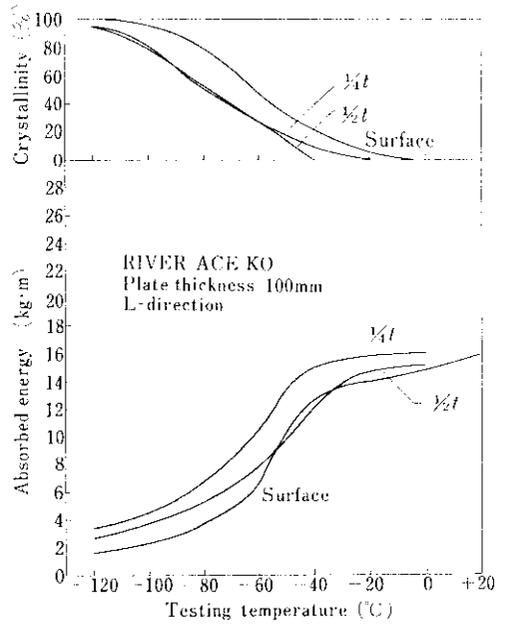


Fig. 12 (b) Charpy V notch transition curves of heavy RIVER ACE KO plate

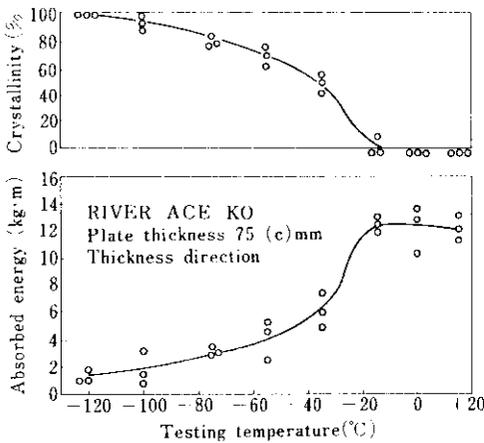


Fig. 12 (c) Charpy V notch transition curves of heavy RIVER ACE KO plate

質をとりまとめたものである。シャルピー衝撃特性の例を Fig. 12 に示す。低C当量の75mm材 (a材) の板厚中心での靱性はほかの鋼材にくらべてやや劣っているが、80kg/mm²鋼として使用上問題にはならない。なお板厚75mm材の板厚方向の衝撃特性を Fig. 12(c) に示す。母材の脆性破壊発生特性(ディープノッチ)試験結果を Fig. 13 に、

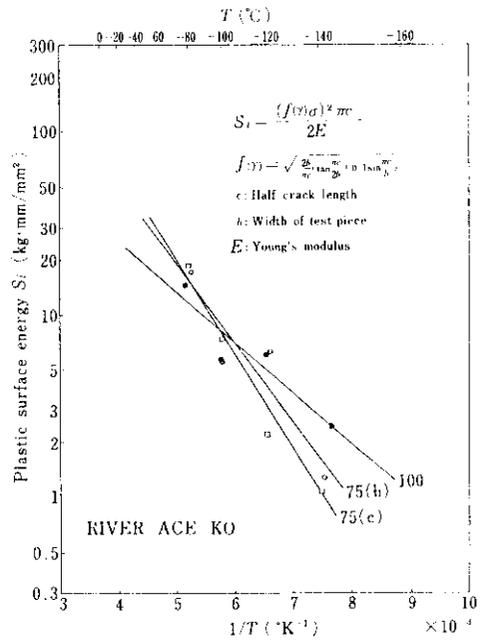


Fig. 13 Results of deep notch test

またこれから求めた先在する1/2亀裂長さ (c) と脆性破壊発生温度 (T) の関係を Fig. 14 に示

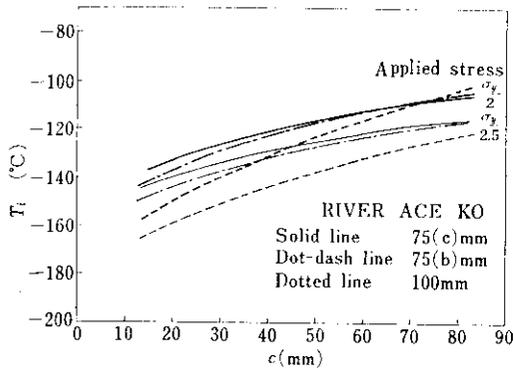


Fig. 14 Relation between half crack length (c) and brittle fracture initiation temperature (T_i)

す。構造物での靱性判定基準として用いられる負荷応力が $\sigma_y/2.5$ で亀裂長さが40mmの場合の T_i は各鋼材とも -120°C 以下であり、溶接による脆化、残留応力、角変形などを考慮しても、 -20°C の使用に十分耐えうる事がわかる。

6.2 SR 後の強度、靱性

母材の 580°C と 625°C での S R 後の強度と靱性の变化を Table 5 に示す。S R による影響はまったくみられない。

Table 5 Change in the tensile and impact properties of heavy RIVER ACE KO plate due to S. R. treatment

Thickness (Symbol) (mm)	Position	Direction	S. R. temp. ($^\circ\text{C}$)	Tension test (JIS No. 4)			Impact test (JIS No. 4)		S. R. condition
				Yield point (kg/mm^2)	Tensile strength (kg/mm^2)	Elongation (%)	vE_{35} ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	vTs ($^\circ\text{C}$)	
75(b)	$1/4 t$	L	580	76	81	25	18.9	-85	Heating and cooling speed $\sim 50^\circ\text{C}/\text{h}$
			625	76	81	26	19.7	-87	
75(c)	$1/4 t$	L	580	79	85	28	22.3	-115	Holding time 3 h
			625	76	82	29	21.8	-120	

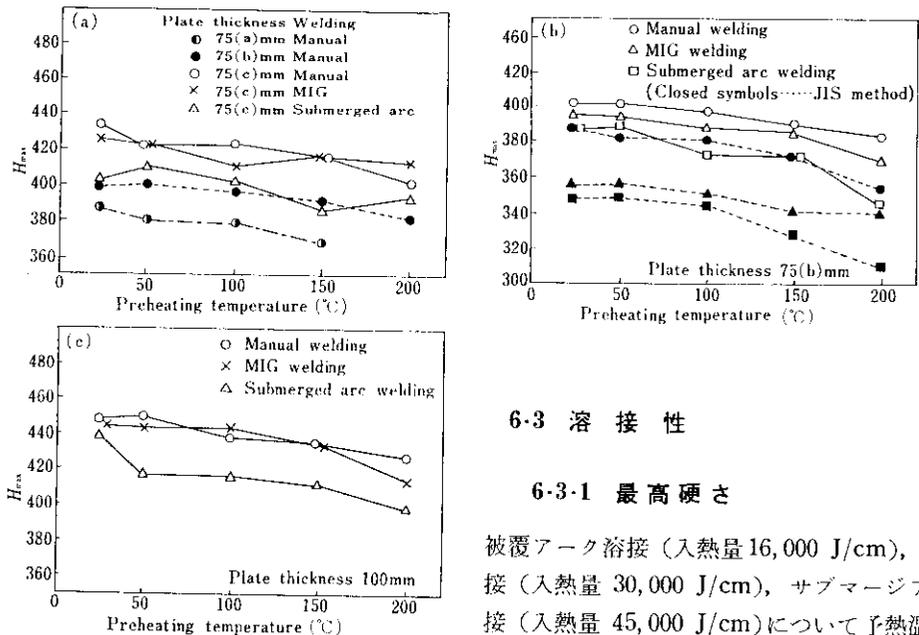


Fig. 15 Effect of welding temperatures on the maximum hardness of welds

6.3 溶接性

6.3.1 最高硬さ

被覆アーク溶接 (入熱量 $16,000 \text{ J}/\text{cm}$)、MIG 溶接 (入熱量 $30,000 \text{ J}/\text{cm}$)、サブマージアーク溶接 (入熱量 $45,000 \text{ J}/\text{cm}$) について予熱温度をかえて行なった溶接最高硬さ (H_{max}) 試験結果を Fig. 15 に示す。いずれも80キロ鋼としては十分

Table 6 Welding conditions for y groove restraint cracking test

Manual welding		MIG welding	
Welding rod	KS-116	Welding wire	KM-80
Rod dia.	4 mm	Sealing gas	Ar 16 CO ₂ 4l/min
Welding current	170A	Wire dia.	1.6 mm
Arc voltage	24V	Welding current	320A
Welding speed	150 mm/min	Arc voltage	32V
Heat input	16,000 J/cm	Welding speed	210 mm/min
Temperature	30°C	Heat input	29,000 J/cm
Humidity	80%	Temperature	25°C
Pre-treatment	400°C × 1 h	Humidity	81% (75(b): 64%)

低い値を示すが、とくに Fig. 15(a)ではC当量あるいはCの影響が明確にみられ、75mm (a)の低C低C当量の鋼材での H_{max} は $360H_{V(10)}$ 程度であることが注目される。また Fig. 15(b)にみられるように、JIS法に準じ板厚が20mmになるように片側から減厚した状態と、元厚の状態で行なった

H_{max} にはかなりの差がみられ、75mm程度の極厚材では溶接後の冷却速度の影響がみられる。

6.3.2 斜めy開先拘束われ試験

片面より50mmに減厚して行なった被覆アーク溶接とMIG溶接による斜めy開先拘束われ試験結果を Fig. 16 に示す。また本試験に用いた溶接条件を Table 6 に示す。被覆アーク溶接でのわれ阻止温度はいずれも100°C以下であり、MIG溶接の場合にはさらに25°C低温である。また75mm材についてはC当量をおよそ0.05%低下させるとわれ阻止温度も25°C低下することがわかる。

6.3.3 継手性能試験

Table 7 に試験に用いた開先形状と溶接条件を示す。継手引張と曲げ試験結果を Table 8 に、溶

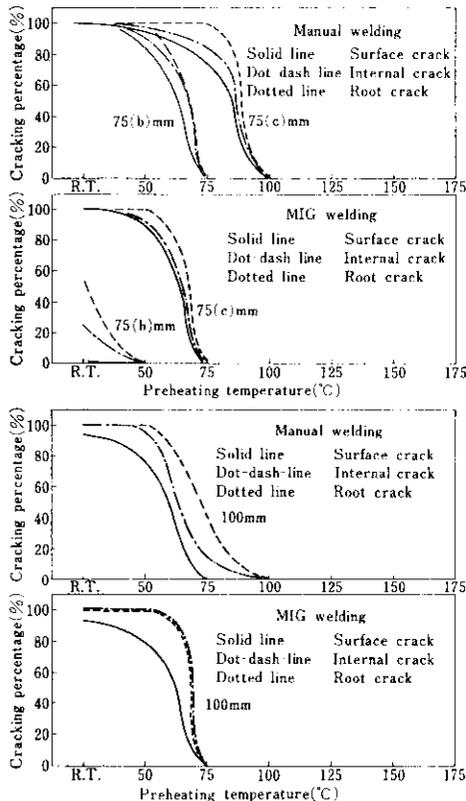


Fig. 16 Results of y groove restraint cracking test

Table 7 Welding conditions for the testing of weld joints

Welding method	MIG welding	Submerged arc welding
Welding material	KM-80	KB-80C × KW-103B
Sealing gas	Ar 16 CO ₂ 4l/min	
Wire dia.	1.6mm	4.8mm
Welding current	320A	600A
Arc voltage	32V	30V
Welding speed	250mm/min	220mm/min
Heat input	25,000J/cm	49,000J/cm
Shape of groove		
Number of pass	69-73	30(75mm), 50(100mm)
Pre-heat temp.	100°C	100°C
Inter layer temp.	149-159°C	149-159°C

Table 8 Results of the tension test and guided bend test of butt joint

Thickness (Symbol) (mm)	Welding method	Tension test (JIS No. 1A)		Guided bend test		Decreased thickness of test piece
		Tensile strength (kg/mm ²)	Fractured position	Cracking	Bending angle	
75(b)	MIG	81.1	W. M.	No	>180°	B side 5 mm
	Submerged arc	82.0	B. M.	No	>180°	B-side 5 mm
75(c)	MIG	83.8	B. M.	No	>180°	B-side 5 mm
	Submerged arc	83.9	B. M.	No	>180°	B-side 5 mm
100	Submerged arc	81.7	B. M.	No	>180°	B-side 5 mm F-side 25 mm

W. M. : Weld metal

B. M. : Base metal

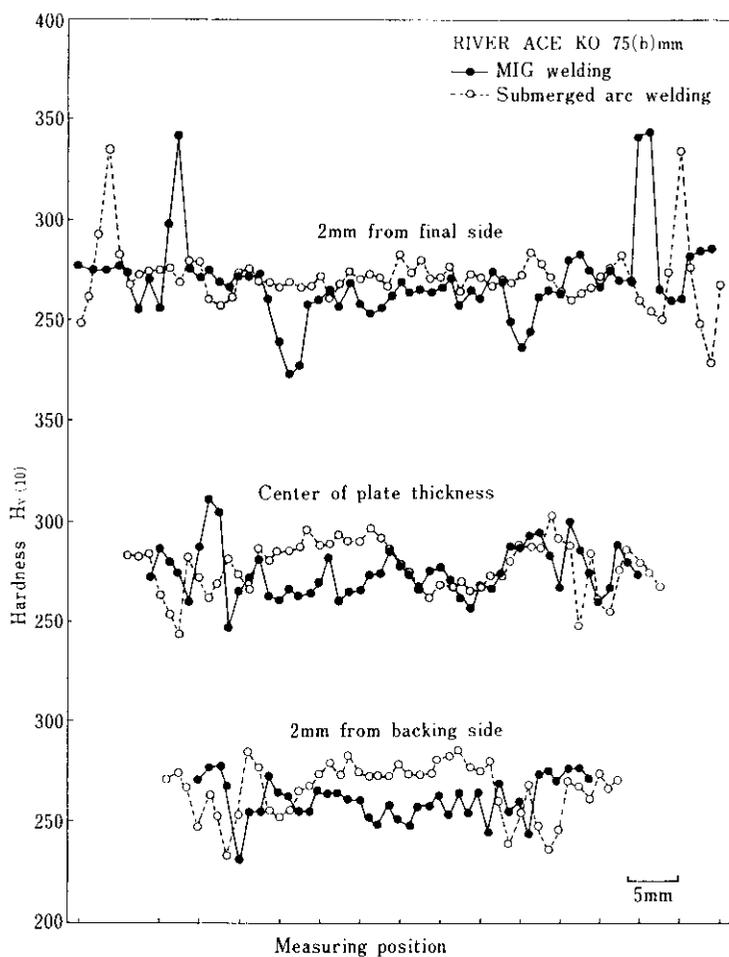


Fig. 17 Hardness distribution in the welds of heavy RIVER ACE KO plate

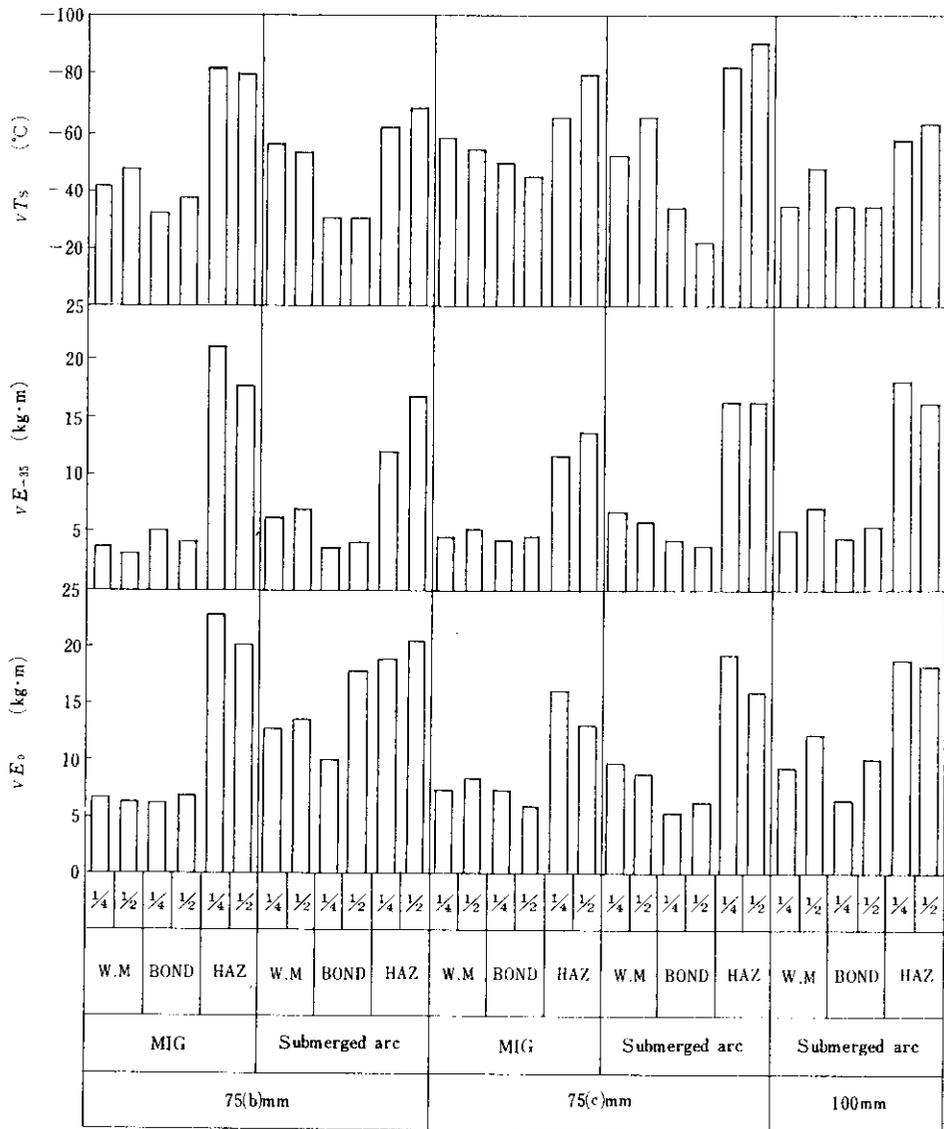


Fig. 18 Notch toughness in the welds of heavy RIVER ACE KO plate

接継手部の硬さ分布を Fig. 17 に示す。継手部の切欠靱性は Fig. 18 に示すように良好であり、とくに入熱量が高いサブマージアーク溶接での溶接金属の吸収エネルギーが高いことは、適当な鋼材と溶接材料の選定によって脆化の心配なく、大入熱による施行能率の向上が期待できることを示している。

7. 結 言

80キロ級極厚調質高張力鋼の製造方法について種々検討を行なった結果、従来の鋼材よりも安定した製造工程により、低C当量で溶接性がよく、しかも全板厚にわたり均質で良好な靱性をもつ板厚 100mm までの鋼板の製造が可能になった。

この結果は、阪神高速道路公団の南港連絡橋用などの橋梁用80キロ級極厚鋼板の製造に応用されている。これらの極厚鋼板は橋梁用だけでなく、圧力容器、ペンストック、産業機械などの大型構造物でのより苛酷な施行あるいは使用条件にも優

秀な特性を示す材料であることを確信する。

今後の課題として実際の施行および使用条件に適した性能と経済性とを兼ねそなえた鋼材の開発が必要であろう。

参 考 文 献

- 1) 笹戸：JSSC 7 (1971) 29, 阪神高速道路公団資料, (1971)
- 2) 田島, 伊藤, 石原, 嶋, 船越：川崎製鉄技報, 4 (1971), 438
- 3) 邦武, 寺崎, 大森, 大谷：鉄と鋼, 57 (1971), 725
- 4) B. M. Kapadia, R. M. Brown and W. J. Murphy：Trans. AIME, 242 (1968), 1689
- 5) 今井, 石崎：鉄鋼と合金元素 (上), (1966), 593
- 6) 伊藤, 別所：溶接学会誌, 37 (1968), 983

