

60~70 kg/mm² 級高張力鋼の溶接性，加工性および水力機器への応用（その一，基礎試験）

Studies on Weldability and Workability of 60~70 kg/mm² High-strength Steels and Their Application to Hydraulic Turbine Parts (Part 1-Basic Investigation)

妹島五彦* Itsuhiko Sejima 石原政男* Masao Ishihara 大国哲男* Tetsuo Ôkuni
高坂七三* Shichizô Kôsaka 和田辰治* Tatsuji Wada

要 旨

近年，高張力鋼（以下 HT 鋼という）の発達に伴い，HT 鋼が水力機器（水車ケーシング，圧油装置など）にも盛んに適用され，その実用化例⁽¹⁾⁽²⁾も多く発表されている。本報告では特に 60~70 kg/mm² 級高張力鋼（以下 HT 60，HT 70 という）を実用化するに当たって問題となる HT 鋼の溶接性（特に溶接割れの問題），溶接部の継手性能〔溶接境界部（以下 Bond 部という），溶接熱影響部（以下 HAZ という）の脆化（ぜいか）の問題〕，冷間加工性，熱間加工性などを調査し手溶接，サブマージ・アーク溶接の現場施工条件の検討を行なった。

- これらの結果から
- (1) 調質 HT 60 の溶接性，加工性は良好である。
 - (2) 調質 HT 70 の溶接性，加工性は HT 60 にくらべやや劣るが標準施工条件範囲であれば全く問題がない。
 - (3) 非調質 HT 60 で熱間加工用として Nb，V 添加した鋼は熱間加工による材力劣化が少ない。
 - (4) 上記各級の HT 鋼のサブマージ・アーク溶接は調質，非調質 HT 鋼を問わず，各板厚に応じた入熱制御を行なえば良好な継手性能が得られる。
- など明らかとなった。

1. 緒 言

日立製作所では 1964 年，電源開発株式会社池原発電所納 110,000 kW 水車ケーシングに HT 60 鋼を使用して以来，水車ケーシング材には大部分，従来の軟鋼にとって代わり，HT 60~HT 70 鋼が数多く採用され⁽¹⁾製作実績も多い。

また最近では熱間加工を要する圧力容器にも非調質 HT 60 鋼の採用が行なわれており，今後ますます HT 鋼が採用される傾向にある。

この報告では，これら各種 HT 鋼を実用化するに当たり，HT 鋼の溶接性，加工性，継手性能などについて調査研究した基礎試験の結果について報告する。特に本報ではサブマージ・アーク溶接を行なった場合の溶接継手性能と溶接条件，熱処理の関係を中心として述べ，水力機器に応用した製作実績については別報にて報告する。

2. 基 礎 実 験

2.1 試験の概要

実験に用いた試験鋼材は調質 HT 60 鋼 3 種類，調質 HT 70 鋼 1 種類，非調質 HT 60 鋼 1 種類の計 5 鋼種で，いずれも現在市販されている代表的 HT 鋼である。供試溶接棒，ワイヤ・フラックスの組合せは手溶接棒 4 種類，サブマージ・アーク溶接用ワイヤおよびフラックスの組合せは 6 種類である。

実験内容は表 1 に示すように，各鋼種，供試溶接棒の組合せにより異なるが主として，溶接性，溶接継手性能，加工性試験について重点的に検討を加えた。

表 1 実 験 項 目

		調質 HT 60	調質 HT 70	非調質 HT 60
溶接性試験	溶 接 割 れ 試 験	○(River-Ace 60)	○(Welcon-2H-super)	○(Welten-60H)
	テ ー パ ー か た さ 試 験	○(Welcon-2H)	○(Welcon-2H-super)	○(Welten-60H)
	溶 接 ビ ード 曲 げ 試 験	—	○(Welcon-2H-super)	○(Welten-60H)
	ガス切断面のかたさ測定	○(River-Ace 60)	—	○(Welten-60H)
	アークストライク曲げ試験	○(Welcon-2H)	—	—
	ボ ン チ 曲 げ 試 験	○(Welcon-2H)	—	—
溶性接能継手試験	サブマージ・アーク溶接入熱制限試験	○(River-Ace 60)	○(Welcon-2H-super)	○(Welten-60H)
	サブマージ・アーク溶接継手性能試験	○(Welcon-2H River-Ace 60)	○(Welcon-2H-super)	○(Welten-60H)
	手 溶 接 継 手 性 能 試 験	○(Welcon-2H River-Ace 60)	○(Welcon-2H-super)	—
加工性試験	冷 間 加 工 性 試 験	○(Welcon-2H)	—	—
	ひ ず み 時 効 試 験	○(Welcon-2H)	—	○(Welten-60H)
	熱 間 加 工 性 試 験	—	—	○(Welten-60H)

2.2 供試鋼板および供試溶接棒，サブマージ・アーク溶接用ワイヤ・フラックスの特性

供試鋼材は調質 HT 60 鋼，3 種類（Welcon-2 H (Mn-Si 系)，River-Ace 60 (Mo-V 系)，Welten-60 (Cr-V 系))，調質 HT 70 鋼，1 種類（Welcon-2H-super (Ni-Cr-Mo 系))，非調質 HT 60 鋼，1 種類（Welten-60H (Ni-Nb-V 系)) の計 5 鋼種である。板厚は 16~46 mm の中厚板の範囲のものを採用した。

表 2 に供試鋼板の化学成分および機械的性質の一例を示す。表 3 は供試溶接棒，サブマージ・アーク溶接用ワイヤ・フラックスの組合せと全溶着金属の化学成分，機械的性質を示している。供試溶接棒は HT 60 鋼として，LB-62 (神鋼)，①-60 (八幡溶接棒) の 2 種類，HT 70 鋼用として，LH 70 S (富士溶接棒)，LB 106 (神鋼) の 2 種類，サブマージ・アーク溶接用ワイヤ・フラックスの組合せは，HT 60 鋼用として，US49×MF 38 (神鋼)，Y-DM×YF-15，Y-DM×YF-15① (八幡溶接棒) の 3 種類，HT 70 鋼としては US 49×PFH80 (神鋼) US 70×MF 38 (神鋼) の 2 種類，非調質 HT 60 鋼としては Y-

* 日立製作所日立工場

表 2 供試 HT 鋼の化学成分および機械的性質

記号	銘板	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%)										Ceq (%)	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	EL (%)	曲げ試験 1号-2tR	衝 撃 値 Vシャルピー (kg-m/cm ²)	熱 処 理	製 作 者	備 考
			C	Si	Mn	P	S	V	Ni	Cr	Mo	その他									
A	Welcon-2H	23	0.11	0.30	1.11	0.026	0.014	—	0.22	0.14	0.10	—	0.392	60.7	68.8	41.5	180°良好	17.2 (0℃)	Q-T 処理	日本製鋼	調質 HT 60
B	River-Ace 60	34	0.13	0.40	1.12	0.014	0.020	0.30	0.45	—	0.11	—	0.380	52	62	28	180°良好	18.6 (0℃)	Q-T 処理	川崎製鉄	調質 HT 60
C	Welcon-2H-super	30	0.13	0.37	0.81	0.017	0.016	—	0.88	0.31	0.31	—	0.434	68	75.2	42.9	180°良好	21.3 (0℃)	Q-T 処理	日本製鋼	調質 HT 70
D	Welten-60	34	0.14	0.48	1.28	0.016	0.007	0.06	0.30	0.23	—	—	0.432	51	63	30	180°良好	18.9 (0℃)	Q-T 処理	八幡製鉄	調質 HT 60
E	Welten-60H	42	0.15	0.53	1.40	0.016	0.005	0.06	0.48	—	—	Nb 0.05	0.432	50	69	33	180°良好	16.3 (−5℃)	Nor 処理	八幡製鉄	非調質 HT 60

$$\therefore Ceq (WES) = C + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{40} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{14} V \quad (\%)$$

表 3 供試溶接棒，ワイヤおよびフラックスを組合せた場合の全溶着金属の化学成分および機械的性質

組合せ 記 号	溶接棒およびワイヤ・フラックスの組合せ	母 材	化 学 成 分 (%)									σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	E L (%)	絞り (%)	衝 撃 値 Vシャルピー (kg-m/cm ²)	熱 処 理	製作者	備 考
			C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	V	その他								
I	LB62	Welcon-2H	0.13	0.34	1.04	0.023	0.013	0.13	0.51	0.03	—	54.0	65.0	23.4	69.5	24.0 (RT)	As Weld	神 鋼	HT60用 (手溶接)
II	L-60	Welten-60	0.07	0.68	0.95	0.012	0.010	0.21	1.16	—	—	57.6	66.7	29	69.0	23.5 (RT)	As Weld	八幡棒	HT60用 (手溶接)
III	LH70S	Welcon-2H-super	0.05	0.52	1.35	0.010	0.011	0.36	1.88	—	Cr 0.21	68.7	75.6	28	—	23.5 (RT)	As Weld	富士棒	HT70用 (手溶接)
IV	LB106	Welcon-2H-super	0.07	0.58	1.45	0.005	0.008	0.43	1.70	—	Cr 0.10	67.0	78.0	27	—	20.0 (RT)	As Weld	神 鋼	HT70用 (手溶接)
V	US49×MF38	Welcon-2H	0.10	0.36	1.60	0.015	0.013	0.41	0.18	—	Cr 0.08	57.0	65	32	—	10.2 (RT)	As Weld	神 鋼	HT60用 (サブマージ溶接)
VI	Y-DM×YF15	River-Ace 60	0.06	0.43	1.34	0.034	0.020	0.35	—	—	—	55.7	66.7	26	—	8.9 (0℃)	As Weld	八幡棒	HT60用 (サブマージ溶接)
VII	US49×PFH80	Welcon-2H-super	0.06	0.57	1.58	0.018	0.006	0.45	0.53	—	Cr 0.42	—	77	24	—	9.1 (0℃)	As Weld	神 鋼	HT70用 (サブマージ溶接)
VIII	US70×MF38	Welcon-2H-super	0.11	0.56	1.54	0.010	0.006	0.47	0.68	—	Cr 0.40	69.7	81	21	—	9.09 (0℃)	As Weld	神 鋼	HT70用 (サブマージ溶接)
IX	Y-DM×YF15	Welten-60H	0.11	0.21	1.18	0.019	0.013	0.34	0.21	0.02	tr	—	70.5	23.6	51.6	5.4 (0℃)	As Weld	八幡棒	HT60用 (サブマージ溶接)
X	Y-DM×YF15⑩	Welten-60H	0.11	0.32	1.30	0.018	0.009	0.28	0.31	0.04	Nb 0.03	65.5	69.7	24.8	56.0	10.3 (0℃)	As Weld	八幡棒	HT60用 (サブマージ溶接)
XI	Y-204×YF15⑩	Welten-60H	0.09	0.43	1.53	0.013	0.011	0.29	0.73	0.05	Nb 0.03	68.4	76.1	25.6	59.0	11.0 (0℃)	As Weld	八幡棒	HT60用 (サブマージ溶接)

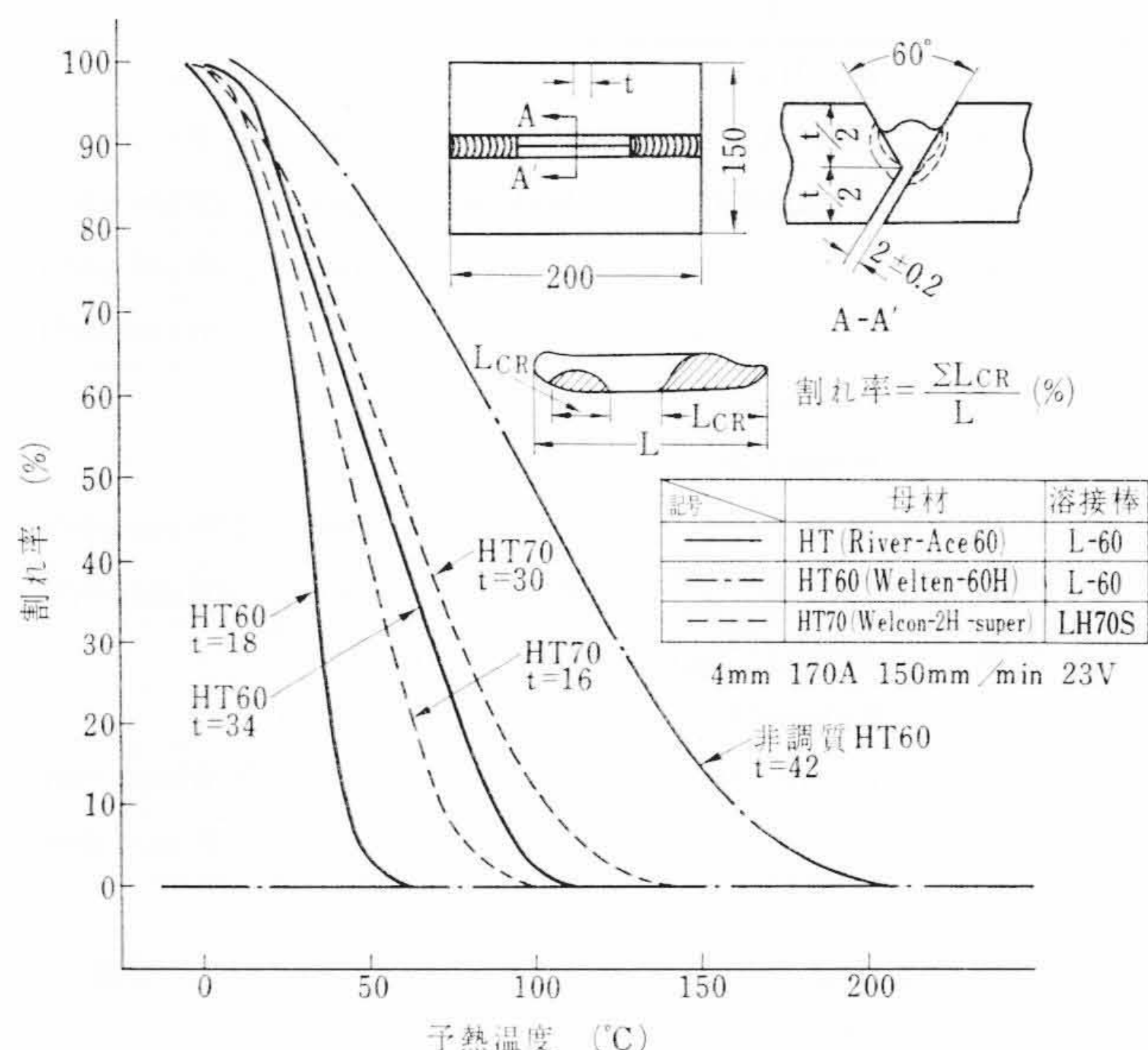


図 1 HT 60～HT 70 鋼の y 形スリット割れ試験結果(ルート割れ)

DM×YF-15⑩, Y-204×YF-15⑩ (八幡溶接棒)の計 11 種類の組合せについて検討を行なった。

全溶着金属の機械的性質，引張強さ(σ_B)，降伏点(σ_y)はいずれも母材の規定強度を上まわっている。全溶着金属の低温衝撃特性に関しては，手溶接棒では 20 kg-m/cm² 以上の高衝撃値を示しているが，サブマージ・アーク溶接では 10 kg-m/cm² 以下であり，手溶接にくらべ低くなっているが，いずれも $E_o \geq 5$ kg-m/cm² 以上の値を示しており，HT 鋼用として満足のゆく組合せとなっている。

3. 溶接性試験結果

3.1 溶接割れ試験結果

HT 鋼の溶接施工で最も問題となるのは溶接割れ感受性⁽³⁾であり

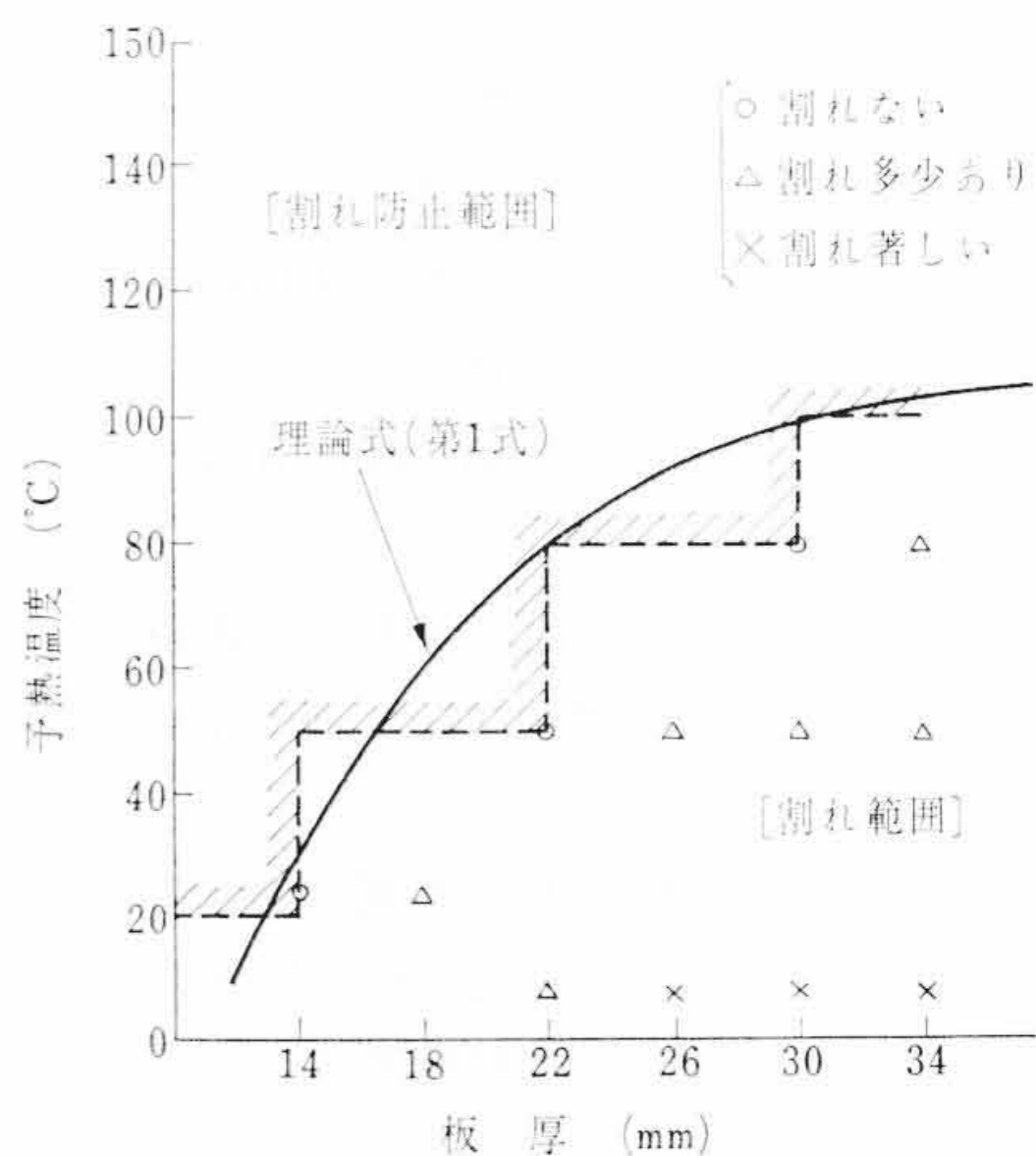


図 2 調質 HT 60 鋼，予熱温度と板厚の関係

特に低温割れ（ルート割れ）を防止する必要がある。これらの割れ感度を試験する方法で最も適していると考えられる y 形スリット溶接割れ試験方法(JIS Z 3158-1966)に基づき割れ試験を行なった。

図 1 に HT60～HT 70 鋼の y 形スリット割れ試験結果 (ルート割れ)をまとめて示す。これらの結果，調質 HT 60 鋼で厚板(≒34 mm)で約 100℃，中板(≒18 mm)で 50℃ の予熱をすればルート割れは防止できることがわかる。図 2 はこれらの結果をもとに割れ防止のための必要な予熱条件と板厚の関係を示したものである。これらの結果，割れ感受性と冷却速度の間には密接な関連性があり⁽³⁾⁽⁴⁾，予熱操作は 300℃ 以下の冷却速度を遅くすることに効果があり，HAZ に補足される水素の拡散速度を増すことにより割れ感受性が低くなると考えられる。図 2 中に示す曲線は稲垣博士などの研究により，低温割れと 800～300℃ までの冷却時間を求める計算式⁽⁴⁾((1)式)より，逆に各板厚に対する予熱温度を求めたもので，実験値とかなりよく一致した値を示している。



ルート部より HAZ 部へはいった割れ状況

予熱温度：RT

図3 非調質 TH 60 鋼 (Welten-60H) y 形スリット割れ試験片 (×100)

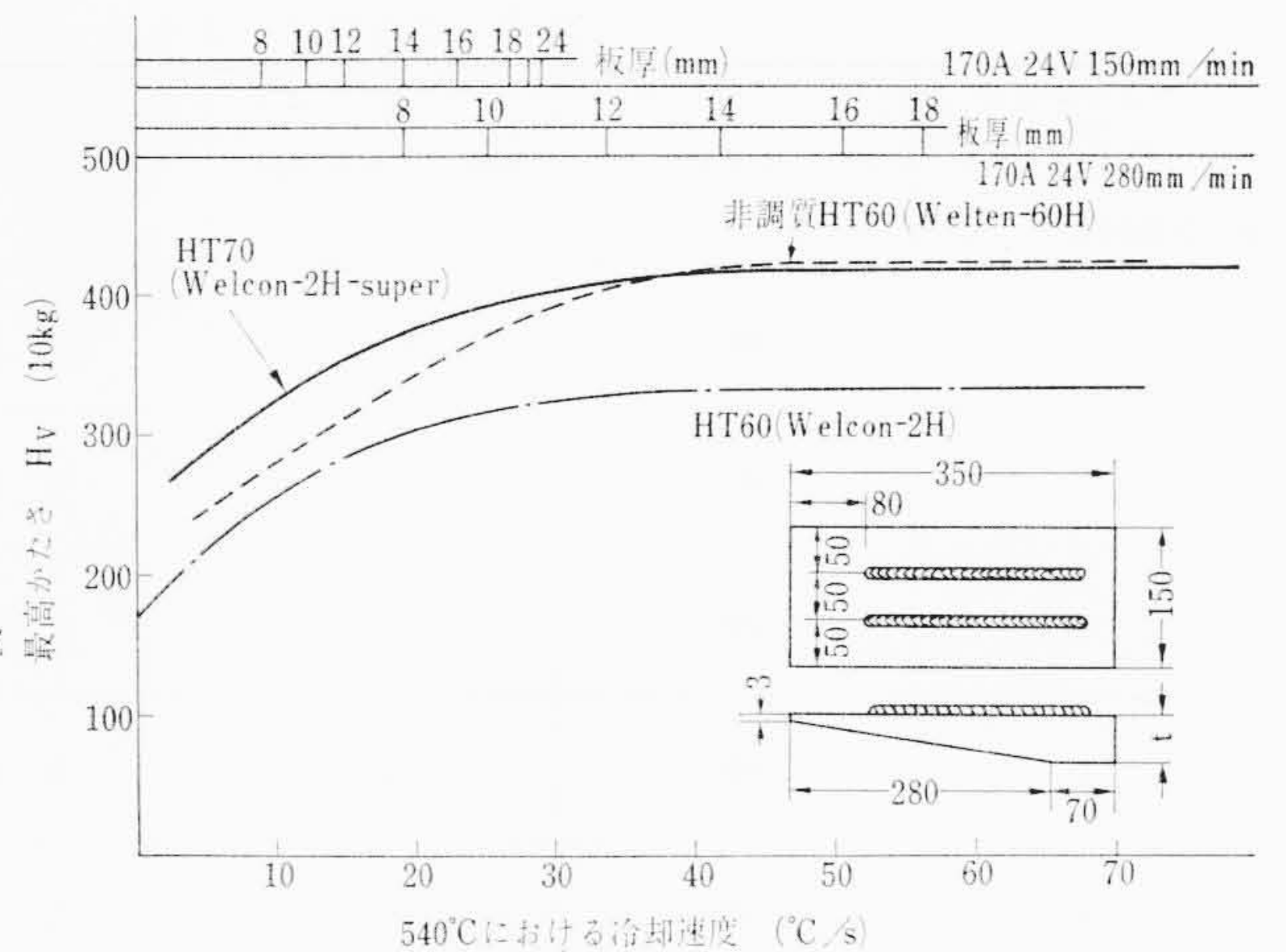
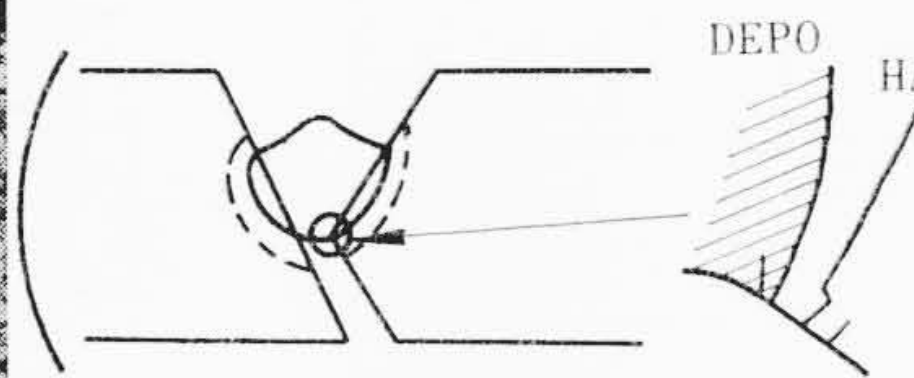


図4 HT 60~HT 70 鋼のテーパ-かたさ試験結果

表4 溶接ビード曲げ試験結果

鋼種	板厚	溶接棒	溶接条件			予熱温度 (°C)	割れ発生 角度 (deg)	割れ発生時表面ひずみ (%)		判定	WES 規格で規定され ている割れ発生角度
			電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)			GL=60mm	=120mm		
HT 70 (Welcon-2H- super)	16	III (LH70S) 4mm	170	23~26	150	常温 20°C	割れなし※	22	10.8	○	43度
		III (LH70S) 4mm	170	23~26	150	50°C	割れなし※	23	7.6	○	43度
		III (LH70S) 4mm	170	23~26	150	100°C	割れなし※	21.2	10.8	○	43度
		III (LH70S) 4mm	170	23~26	150	150°C	割れなし※	21.4	10.6	○	43度
HT 60 (Welten-60H)	42 (溶接後 35)	II (L-60) 4mm	170	23~26	150	常温 20°C	42	21	11.8	○	34度
		II (L-60) 4mm	170	23~26	150	100°C	47.5	22.5	14.8	○	34度
		IX (Y-DM×YF15)	700	33	240	常温 20°C	58	25.1	16.9	○	34度
		IX (Y-DM×YF15)	450	30	240	常温 20°C	50.2	24.5	15.8	○	34度

※ 90°まで曲げ

$$S = \frac{2(60E \cdot I/v)^{1.5}}{\beta(400 - T_0)^2 \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{t-14.6}{4.5} \right) \right\}}$$

..... (1)

ここに、S: Bond 部の冷却時間 (800~500°C までの冷却時間 (s)) ÷ 22 s

E: アーク電圧 (V)

I: 溶接電流 (A)

T₀: 板の初温 (°C)

t: 板厚 (mm)

β: Constant (突合せ溶接のときは β=1)

調質 HT 70 鋼では HT 60 鋼にくらべ割れ感受性は高くなり、図1に示すように厚板 (≒300 mm) で約 150°C、中板 (≒16 mm) で 100°C の予熱が必要である。非調質 HT 60 鋼は調質 HT 60 鋼に比べ Nb, V など析出硬化性元素を含むため厚板 (≒42 mm) では 200°C の予熱が必要であり、その割れ感受性はおおむね調質 HT 70 鋼と同程度である。図3は非調質 HT 60 鋼のルート割れ近傍のマイクロ組織を示すもので、割れはルートより HAZ に進展している。以上は手溶接の場合でサブマージ・アーク溶接では初層に手溶接を行なっているのでルート割れの危険性はない。

3.2 テーパーかたさ試験結果

図4に供試 HT 鋼のテーパ-かたさ試験結果を示す。硬化性の高い順序は非調質 HT 60 鋼、調質 HT 70 鋼、調質 HT 60 鋼の順序で特に調質 HT 60 鋼とは差がみとめられる。テーパ-最高かたさは非調質 HT 60 鋼 (Welten-60H)、調質 HT 70 鋼が約 Hv=410 で、調質 HT 60 鋼 (Welcon-2H) が Hv=330 である。これらの値は WES 規格⁵⁾の HW 45 鋼で HAZ の最高かたさ Hv=400、HW 63 鋼で Hv 440 の規格値以内の値を示しており、特に調質 HT 60 鋼の硬化性に

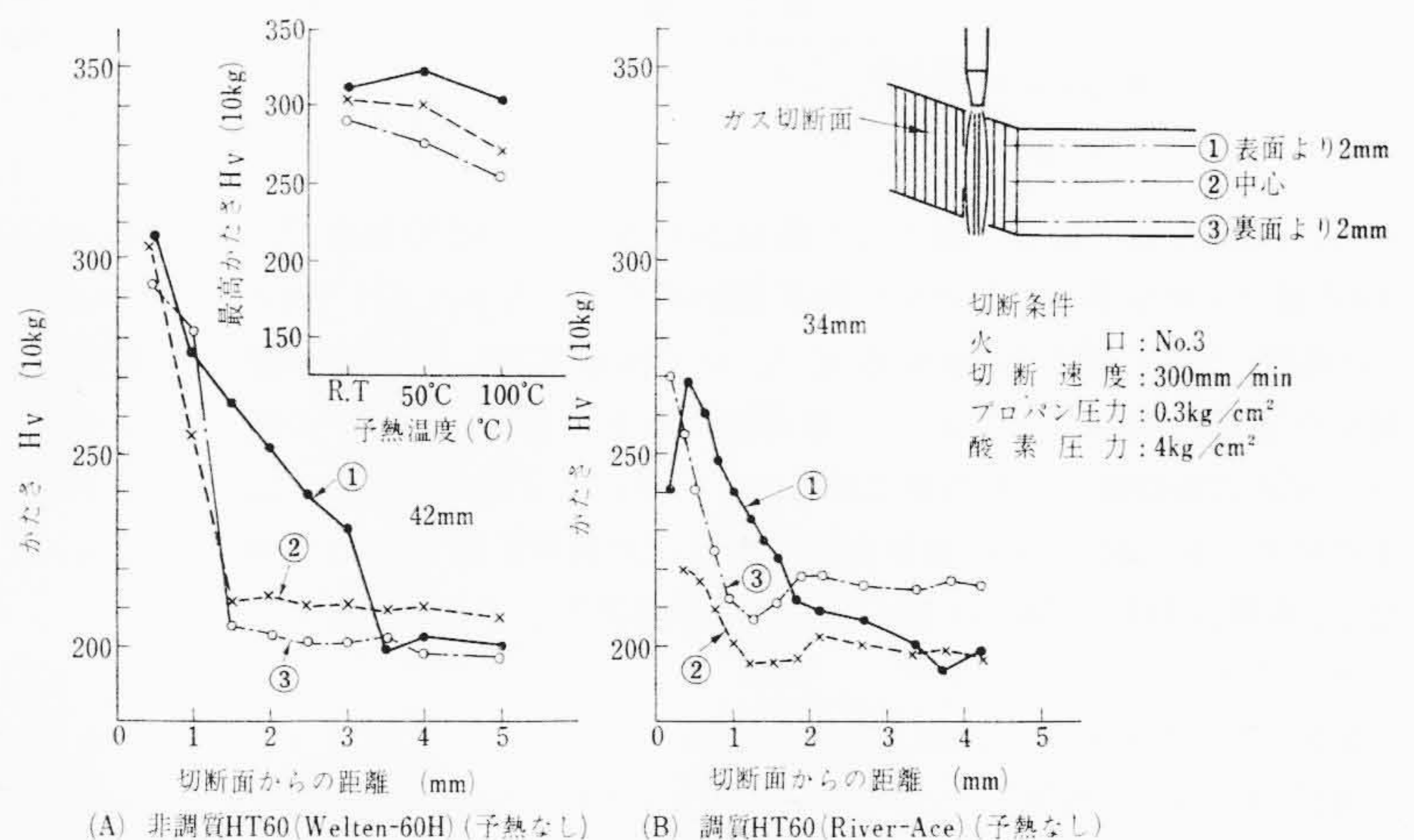


図5 ガス切断面のかたさ分布

ついては問題がない。

3.3 溶接ビード曲げ試験結果

表4に HT 70 鋼と非調質 HT 60 鋼の溶接ビード曲げ試験結果を示す。HT 70 鋼のビード曲げ試験結果は 90 度曲げでも割れ発生せず、局部表面ひずみは 50% に達している。非調質 HT 60 鋼のビード曲げ試験結果も WES 規格限界以上の割れ発生角度を示し、入熱量の大きいサブマージ・アーク溶接のほうがいく分曲げ延性がすぐれている。

3.4 ガス切断面のかたさ測定結果

HT 鋼をガス切断する場合、板厚が厚くなればそれだけ冷却速度が早くなるため硬化する度合も高くなり、延性低下を調査する必要がある。図5に調質 HT 60 鋼 (River-Ace 60) 34 mm、非調質 HT 60 鋼 (Welten-60 H) 42 mm のガス切断面近傍のかたさ分布を示す。

表 5 自由曲げによるアーク・ストライクボンド部のき裂発角（度）

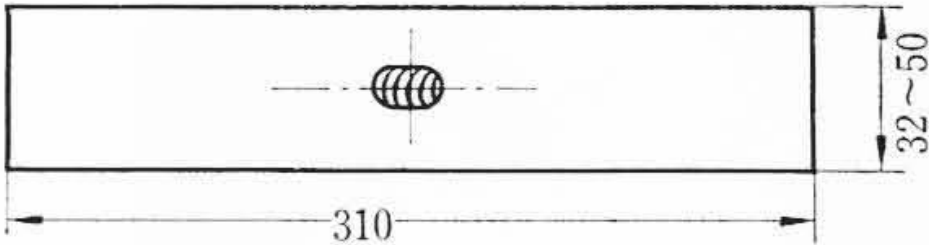
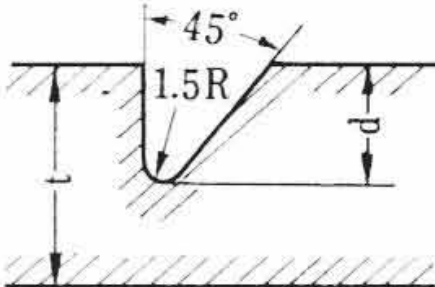
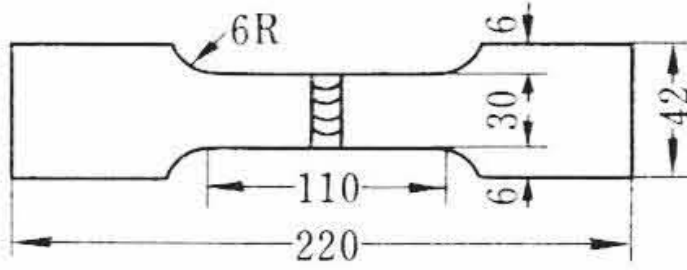
アーク・ストライク防止法 曲げ試験回数	(1) アーク・ストライク のまま	(2) 400℃ の局部後熱	(3) 600℃ の局部後熱	(4) グライダでアーク・ ストライク部をとり 100℃ の予熱で、40 mm のビードをおく	試 験 片 形 状
1	80°	な し	な し	な し	HT60 (Welcon-2H) 23mmt  アークストライク発生条件 棒径：4mm 電流：180A アーク発生時間：1/2 s アークストライク部は グラインダ仕上
2	80°	な し	な し	な し	
3	70°	135°	な し	な し	
4	90°	145°	な し	な し	
5	80°	な し	な し	な し	

表 6 サブマージ・アーク溶接入熱制限試験溶接条件 HT60 鋼 (River-Ace 60) (Y-DM×YF15)

TP No.	板 厚 t (mm)	開先深さ d (mm)	板 の 初 温 (予熱温度℃)	電 流 I (A)	電 圧 E (V)	速 度 V (cm/min)	入 熱 量 ※ ×10 ³ j/cm	パ ス 数	開 先 お よ び 試 験 片 形 状
1	18	11	100	700	35	25.9	56.8	1 パス	
2		11	150	700	35	25.9	56.8	1 パス	
3		10.5	100	700	35	23.5	62.6	1 パス	
4		10.5	150	700	35	23.5	62.6	1 パス	
5	22	11.5	100	780	35	23.9	68.6	1 パス	
6		11.5	150	780	35	23.9	68.6	1 パス	
7		12	100	780	35	22.8	71.9	1 パス	
8		12	150	780	35	22.8	71.9	1 パス	
9	26	12.5	100	850	36	23.0	79.8	1 パス	(1) 引張試験片 (2) 衝撃試験片 JISZ31124 号
10		12.5	150	850	36	23.0	79.8	1 パス	
11		13	100	850	36	21.5	85.4	1 パス	
12		13	150	850	36	21.5	85.4	1 パス	
13	34	14.5	室 温	440	34	26.0	34.5	3 パス	

※ 入熱 (j/cm) = $\frac{60 \cdot I \cdot E}{V}$

River-Ace 60 鋼の場合、図 5 より最高かたさは Hv=270 程度で、HAZ 幅は 1 mm 程度、Welten-60H 鋼の場合、最高かたさは Hv=310 程度、HAZ 幅は 1.5 mm 程度で、いずれも WES, HW45 の最高かたさ Hv=400 以下である。硬化性の大きい Welten-60H の場合、ガス切断の際の予熱効果は顕著でないがいく分認められる。以上の結果、40 mm 前後の板厚範囲であれば調質 HT 60 鋼では予熱なし、非調質 HT 60 鋼では 50～100℃ の予熱併用してガス切断することが望ましい。

3.5 アークストライクおよび脆化試験

調質 HT 鋼の溶接施工上、アーク・ストライクについて発生を避けるよう万全の処理をとっても、皆無にすることは実際問題としてむずかしい。したがってアーク・ストライク発生後の処理として簡単にしかも完全にアーク・ストライクによるトラブル（たとえばアーク・ストライク点がき裂発生源となる）を防止することが必要である。表 5 は HT60 鋼 (Welcon-2H) の自由曲げによるアーク・ストライク部のき裂発角と防止法の関係を示したものである。この結果によるとアーク・ストライクのままではすべて割れ発生曲げ角度は 70～90 度の範囲にあり、アーク・ストライクによる脆化の危険性が考えられる。アーク・ストライク補修方法として表 5 に示す (2)～(4) の方法を用いたがこのうち (2) の 400℃ の局部後熱では 2 本き裂が生じており、(3) の 600℃ の後熱法と (4) の 100℃ 予熱で 40 mm のテンパービードを置いた場合はいずれもき裂を生じなかった。これらの結果現場施工としては比較的補修のやりやすい (4) の 100℃ 予熱、40 mm のテンパービード法を採用することにした。HT70 鋼の場合はさらに 150℃ 予熱、40mm ビード置き後 200℃ の後

熱、ビード仕上を施工する方法を採用している。またポンチマークについてはポンチ先端の鋭さを 5 種類にかえてアーク・ストライクと同様の試験片を作り自由曲げ試験を行なったが、いずれの場合もポンチマークからき裂は生じなかった。しかし実際の作業では極力ポンチを打つことは避け、打つ場合も先端を丸くしたものを使用することにした。最終的にポンチ部のグラインダ仕上を行なっている。

4. 溶接継手性能試験結果

4.1 サブマージ・アーク溶接入熱制限試験

調質 HT60 鋼のサブマージ・アーク溶接における問題として大入熱溶接で特に多層盛溶接を行なった際、母材温度が高くなり冷却速度が遅くなることによる HAZ の軟化と Bond 部の脆化が考えられる。これらの影響を調べるため供試 HT 鋼 (River-Ace 60) の 18, 22, 26, 34mm の各板厚に対し、予熱温度、入熱量を変えた場合の引張、曲げ、衝撃試験を実施した。表 6 に試験形状および条件、図 6, 7 に試験結果を示す。溶接条件と引張強さの関係はすべての条件で規格値を満足しており、各板厚について、入熱量による引張強さの低下の傾向は現われていない。また 26 mm の破断位置が母材であることより、厚板になるにつれて HAZ の軟化傾向が少なくなっていくことがわかる。なお自由曲げではすべて 30% 以上の伸びを示している。溶接条件と衝撃値の関係は図 6 に示すように、HAZ に比べ溶着鋼、Bond 部は低い値を示している。溶着鋼、Bond 部の衝撃値は冷却速度が遅くなるにつれて（すなわち入熱が多く、パス間温度が高くなるにつれて）、衝撃値が低下することを示している。図 7 は基準を引張強さ 60 kg/mm² 以上、0℃ における 2 mmV ノッチシャルピー衝

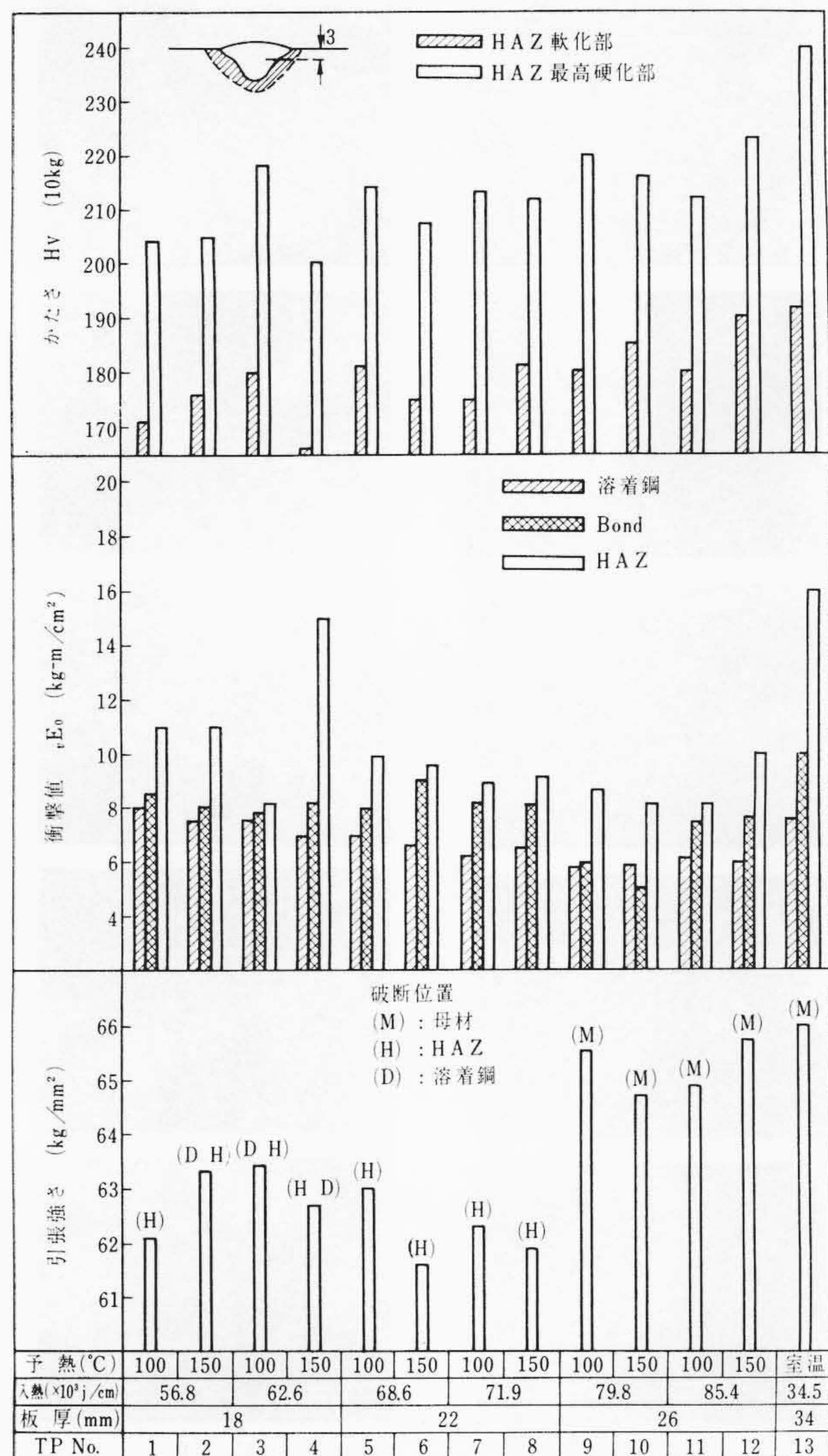


図6 入熱量、板厚、予熱温度と引張強さ、衝撃特性、かたさの関係 (HT60鋼(River-Ace 60) Y-DM $\times$ YF15)

撃値 6kg-m/cm²以上とした場合の板厚と入熱量の機械的性質に及ぼす関係を示したものである。図7に示す範囲内でパス間温度を200℃以下として施工すれば問題ない。サブマージ・アーク溶接下限入熱決定試験結果は図6 TP No. 13に示すように厚板 34mm、予熱パス間温度室温、入熱 34,000 j/cmで溶接した結果は、HAZ Bond部も0℃で10kg-m/cm²と良好な結果を示している。HT70鋼にも同様の試験を行ない後述の表11に示す標準入熱条件を決めている。

4.2 サブマージ・アーク溶接継手性能確認試験

4.2.1 調質 HT 60 鋼の場合

上記実験結果をもとに各種 HT 鋼の溶接継手試験を標準溶接条件で行ない、同時に適正応力除去焼鈍条件を求めるため、焼鈍温度を変えた場合の機械的性質の変化を求めた。図8に HT 60 鋼 (River-Ace 60, Welcon-2H) 2 鋼種の応力除去条件と引張強さの関係を示す。いずれの鋼種も母材で破断しており、605℃まではいずれも規定母材強度を示しているが、母材の焼戻温度範囲の630℃では55~60kg/cm²と母材強度を割る結果を示している。このことは降伏点についても同様である。図9に応力除去焼鈍温度と継手部の衝撃値の関係を示す。図6の結果と同様の傾向であるがいずれも $E_0=6$ kg-m/cm² の値を満足している。また焼鈍処理による影響はあまりみられずむしろ HAZ の衝撃値は焼鈍により回復している。サブマージ・アーク溶接の場合は VI(Y-DM $\times$

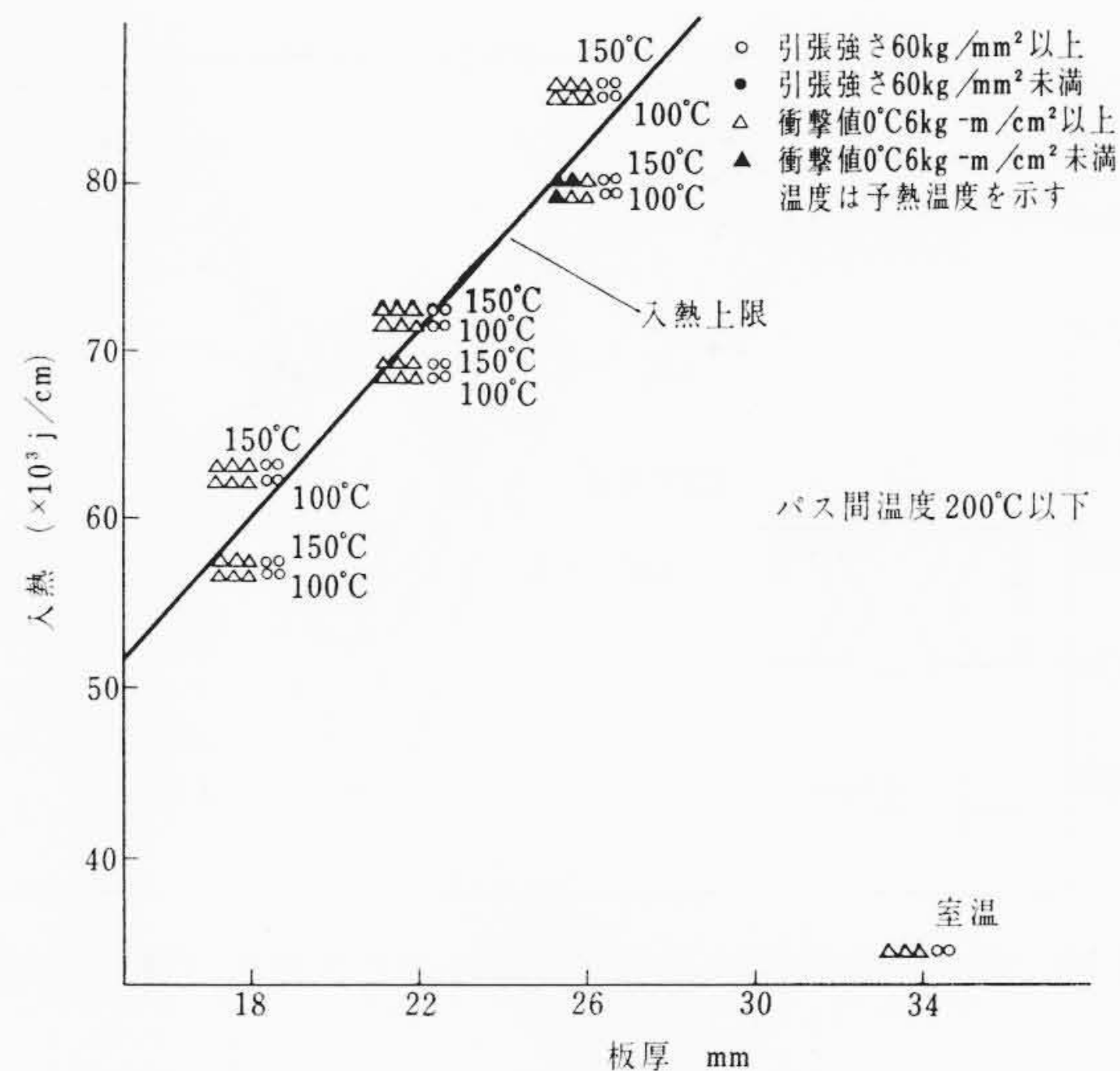


図7 HT 60 鋼における板厚と許容最大入熱量の関係

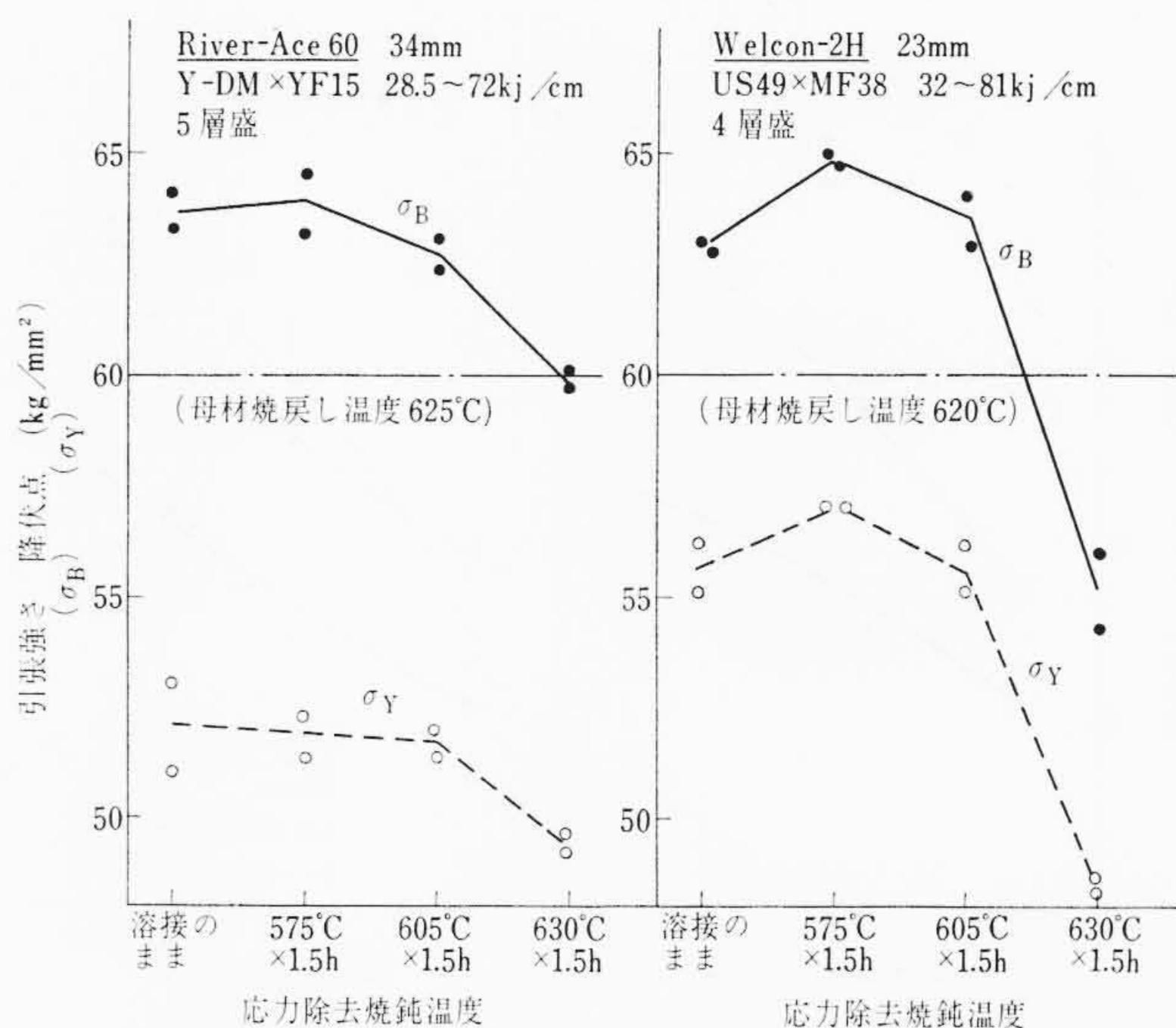


図8 応力除去焼鈍温度と機械的性質の関係 (HT 60 鋼)

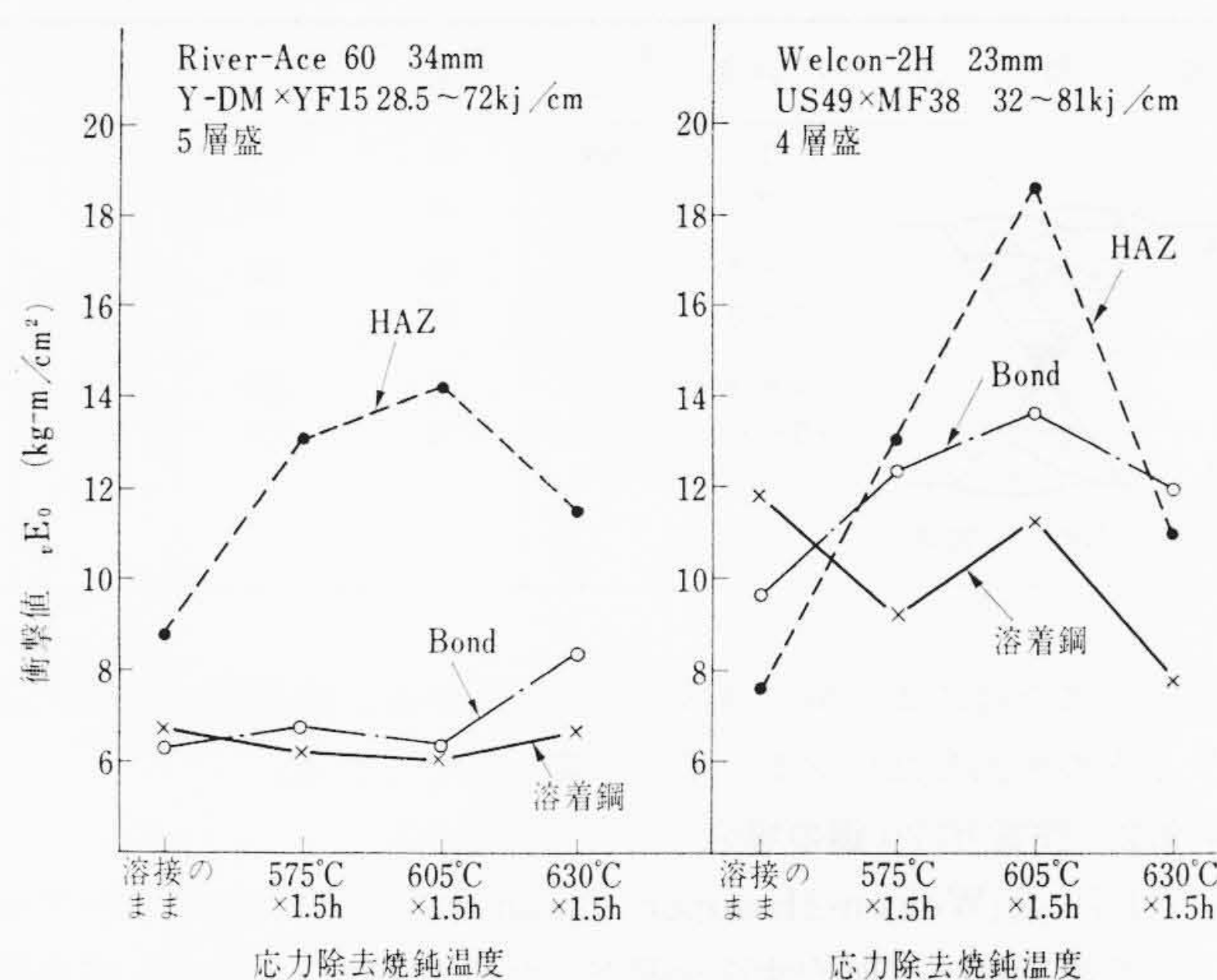


図9 応力除去焼鈍温度と衝撃値の関係 (HT 60 鋼)

YF 15) の組合せに対し V (US49 $\times$ MF 38) の組合せのほうが溶着鋼の衝撃値はよくなっている。図10に River-Ace 60 鋼の継手かたさ変化の一例、図11に顕微鏡組織の一例を示す。顕微鏡組織にみる母材は焼戻しマルテンサイト組織を示しているが、HAZ (脆

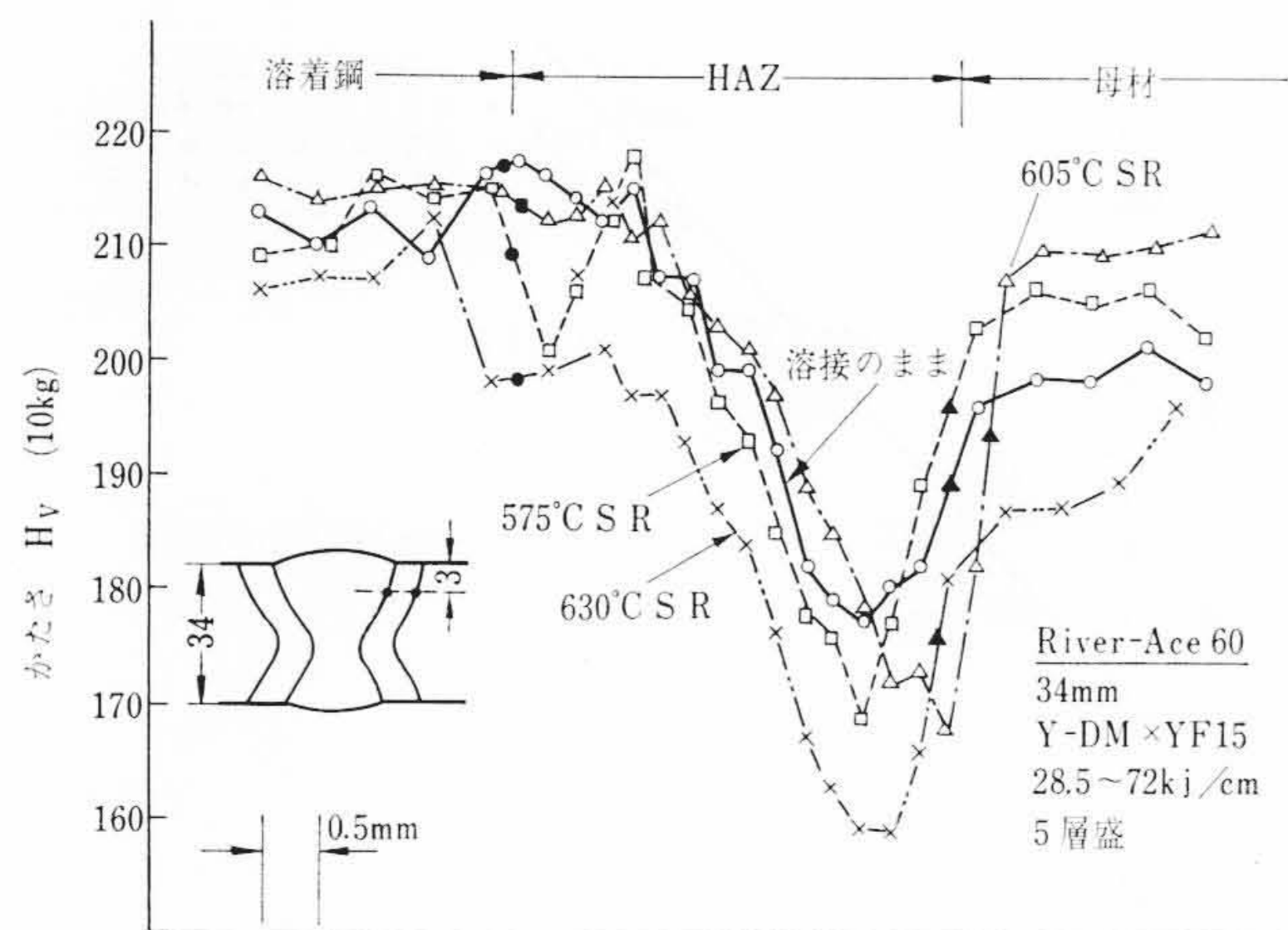


図 10 応力除去焼鈍による継手部のかたさ変化 (HT 60 鋼)

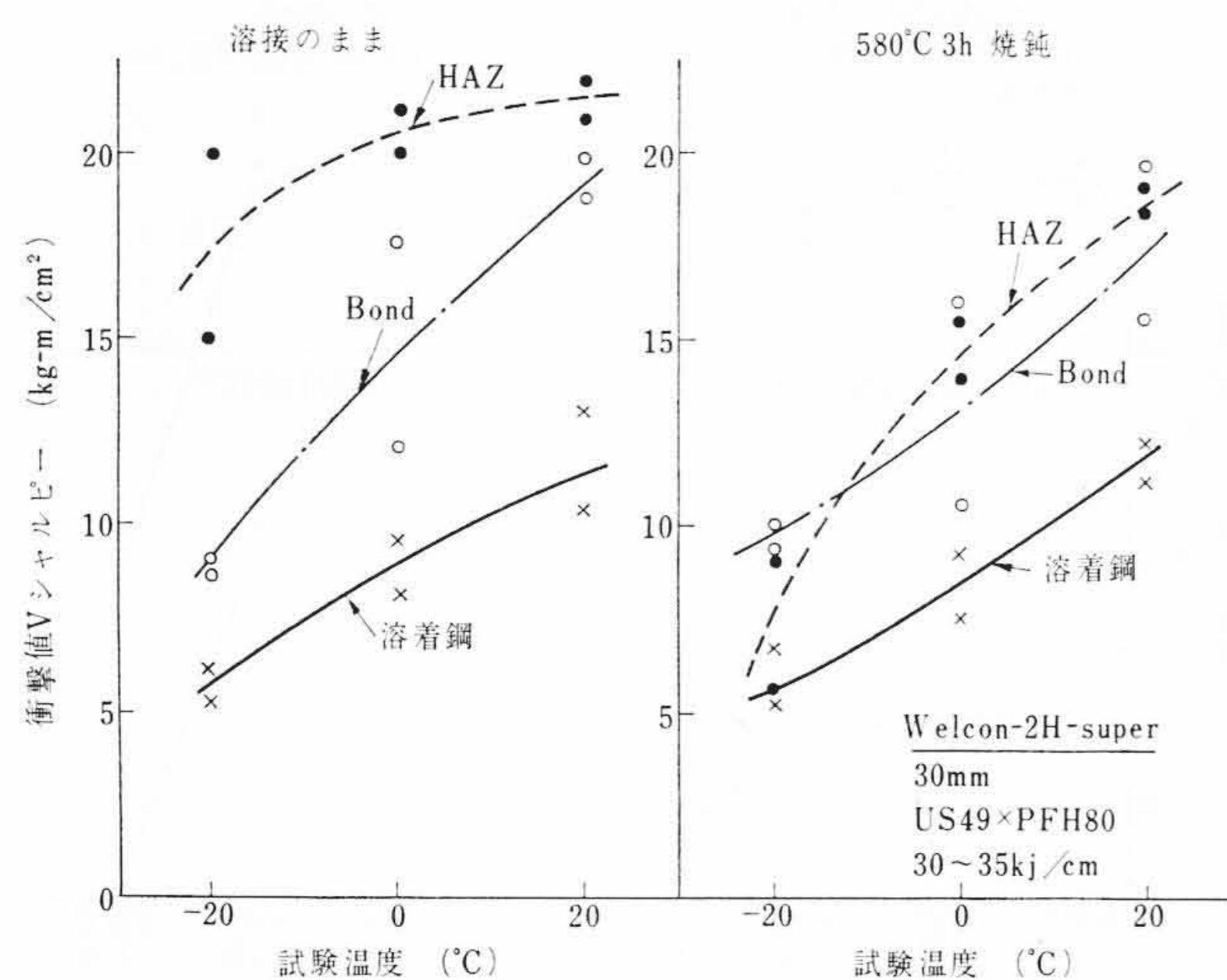


図 12 HT 70 鋼サブマージ・アーク溶接部の衝撃特性

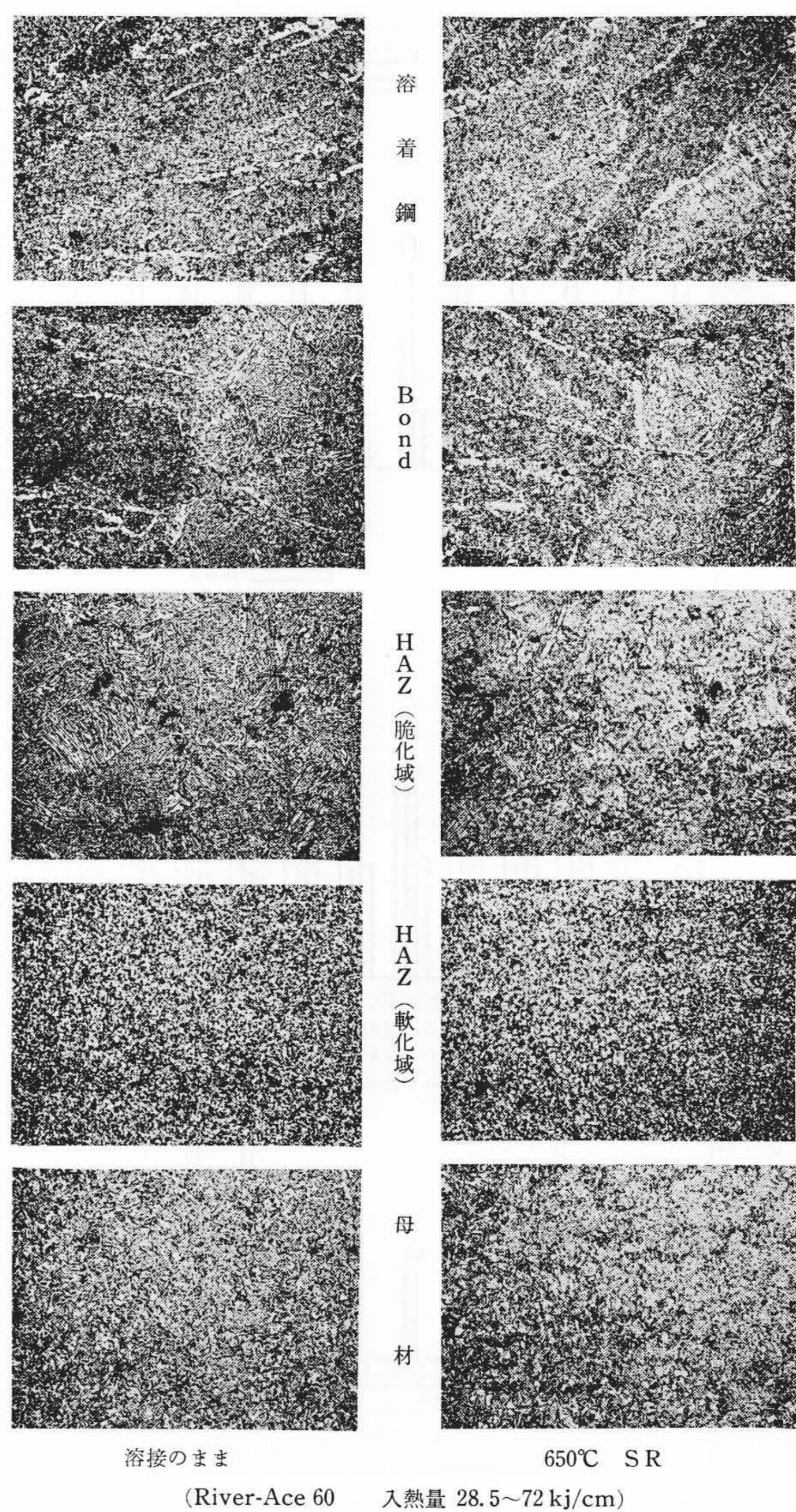


図 11 HT 60 鋼サブマージ・アーク溶接継手部の顕微鏡組織 (×100)

表 7 HT70 鋼 (Welcon-2H-super) サブマージ・アーク溶接継手性能試験結果

積層法	パス数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (kJ/cm)	ワイヤ・フラックスの組合せ	熱処理	引張強さ(σB) (kg/mm ²)	破断位置	側曲げ試験 R=19mm180°	自由曲げ試験 (30%以上)
	1	500	35	350	30	(VIII) US70×MF38	溶接のまま	74.2	母材	良好	合格
	2	500	34	320	32			73.9	母材	溶着鋼割れ	合格
	3~4	500	34	320	32		580°C SR 3h	71.7	母材	良好	合格
	5~6	500	33	320	31			72.6	母材	溶着鋼割れ	合格
	7~8	500	35	300	35	(VII) US49×PFH80	溶接のまま	74.0	母材	良好	合格
	9~10	500	35	330	32			73.3	母材	良好	合格
							580°C SR 3h	74.2	母材	良好	合格
								72.2	母材	良好	合格

化域)は焼鈍によりかなり微細化されている。溶着鋼は初析フェライトの析出したデンドライト組織を呈している。

4.2.2 調質 HT 70 鋼の場合

HT 70 鋼 (Welcon-2H-super) 30 mm 厚鋼板のサブマージ・アーク溶接継手部の機械的性質を調査した結果を表 7 に示す。応力除去焼鈍条件と機械的性質の関係は焼戻温度以下の 580℃ 焼鈍条件であれば、ワイヤ・フラックスの組合せ VIII (US 49×MF 38)、VII (US 49×PFH 80) (表 3 参照) いずれも母材規定強度以上 72~74 kg/mm² を有しており問題はない。ただし、側曲げ試験結果にみるように、中性溶融形フラックス MF 38 の組合せ (VIII) では溶着鋼に割れを生じており、HT 80 鋼用ボンドフラックス PFH-80 の組

合せ (VII) のほうが良い成績を示している。これは表 3 の全溶着金属の化成分および組織からも (VIII) 組合せのほうが溶着金属中の Mn, Si, Ni, Cr 量が (VII) にくらべ多いことに原因している。図 12 に US 49×PFH 80 で溶接した継手部の衝撃試験結果を示す。入熱量 35 kJ/cm の溶接条件で溶接した場合、Bond 部の脆化は全く認められず、580℃ 焼鈍の場合の衝撃値の低下も比較的少なく、すべて $E_0 \geq 9 \text{ kg-m/cm}^2$ の値を満足している。図 13 に同じく顕微鏡組織の一例を示す。図 11 の HT 60 鋼の組織と同様、母材は焼鈍マルテンサイト組織を示しており、溶着鋼も初析フェライトバンドの少ない微細な組織を呈している。図 14 にかたさ測定結果の一例を示す。図 10 の HT 60 鋼に比べかたさは、溶着鋼で Hv

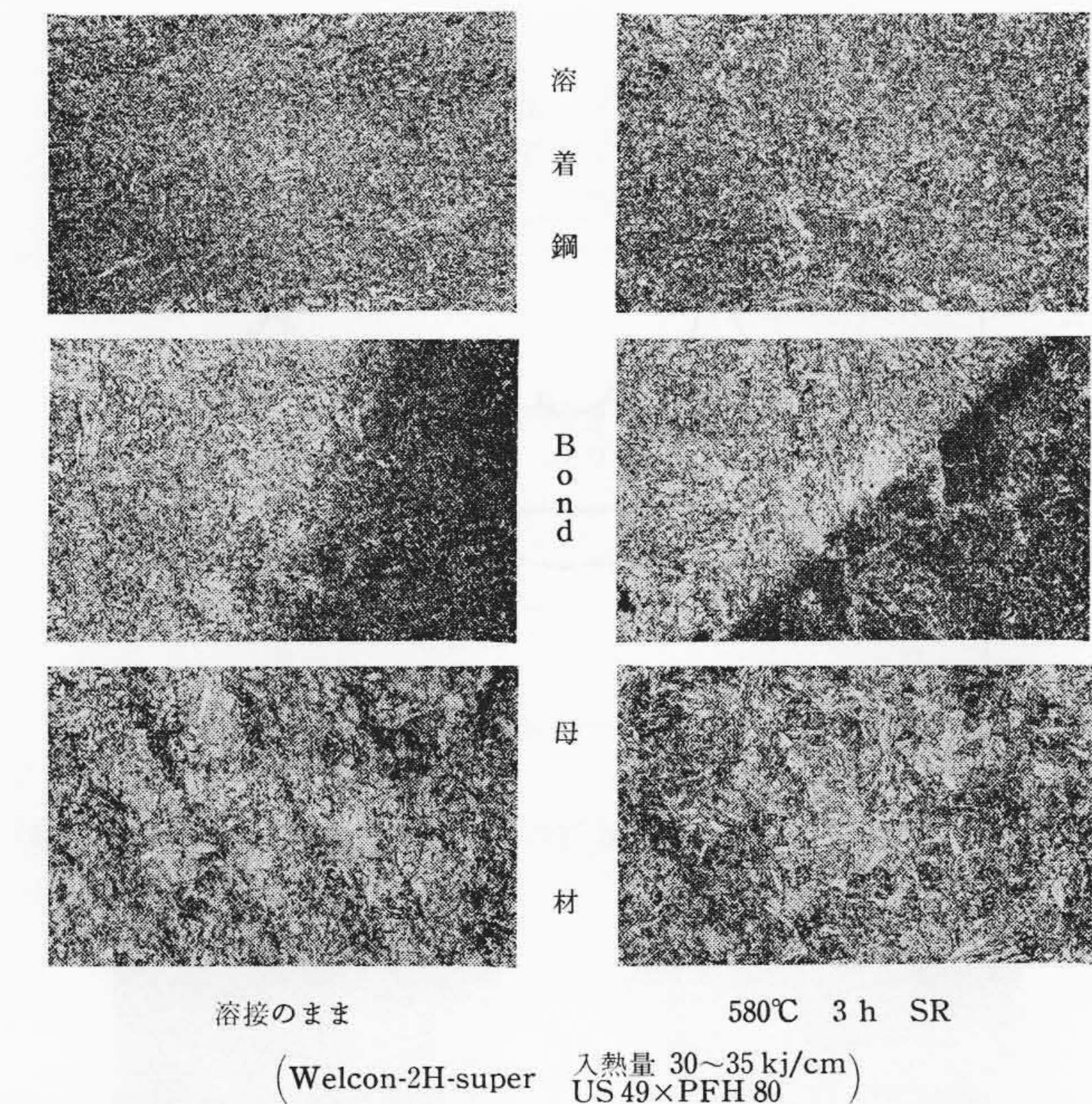


図 13 HT70 鋼サブマージ・アーク溶接継手部の顕微鏡組織 (×100)

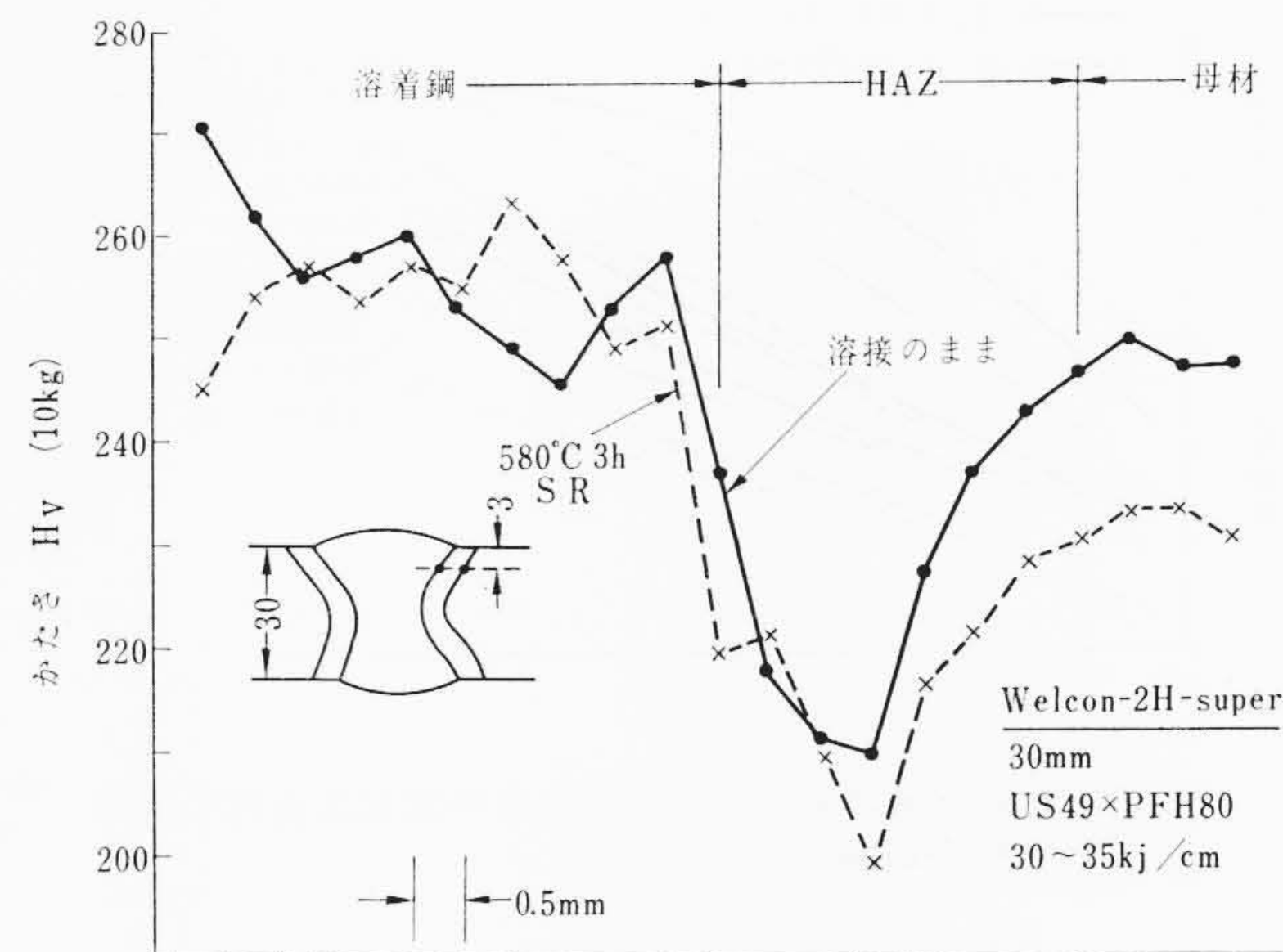
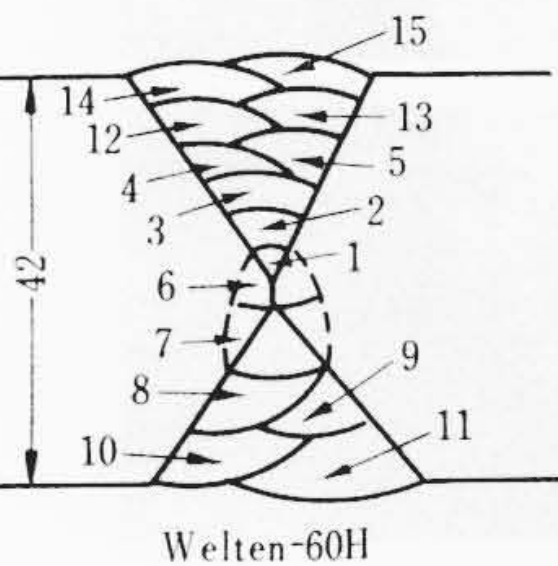
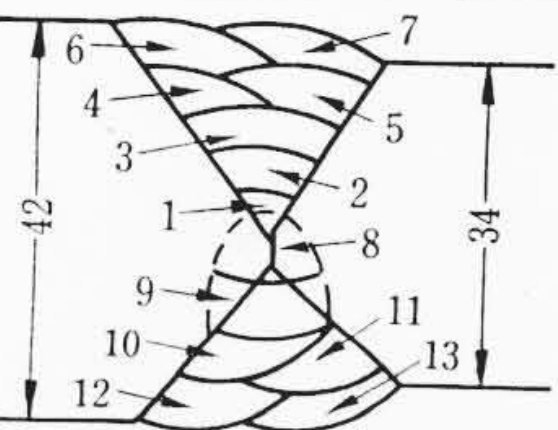


図 14 HT70 鋼溶接継手部のかたさ変化

表 8 非調質 HT60 (Welten 60H) サブマージ・アーク溶接継手性能試験結果

積層法	パス数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (kj/cm)	ワイヤ・フ ラックスの 組合せ	熱処理条件	降伏点 σ_y (kg/mm ²)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	伸 び EL (%) GL=100	破断位置	側曲げ 試 験 R=2t	衝撃値 vE_0 (kg-m/cm ²)		
													溶着鋼	Bond	
														Welten- 60H側	Welten- 60側
	1	L-60 220	26	160	25	(IX) Y-DM × YF-15	溶接のまま	49.6	63.8	21.4	母 材	180°良好	5.4	6.6	—
	2	510	33	320	32		焼鈍 590℃	46.1	60.2	22.0	母 材	180°良好	4.8	3.2	—
	3~5	600	34	280	43.7		焼鈍 625℃	47.6	60.0	24.3	母 材	180°良好	4.0	2.2	—
	6	700	34	240	60		熱間プレス 900℃ 2回型曲げ	49.0	62.9	GL. 外	母 材	180°良好	3.9	5.2	—
	7~11	620	34	280	44.6		熱間プレス 900℃ 3回型曲げ	47.7	62.6	23.7	溶着鋼	180°良好	5.8	7.1	—
	12~15	620	34	270	46		熱間プレス 2回型 曲げ+焼鈍 590℃	42.8	57.1	18.9	溶着鋼	180°良好	8.6	10.1	—
							熱間プレス 3回型 曲げ+焼鈍 590℃	42.8	57.1	18.0	溶着鋼	180°良好	10.0	7.0	—
	1	L-60 220	26	160	25	(X) Y-DM × YF-15⑩	溶接のまま	48.9	65.6	GL. 外	母 材 Welten- 60	180°良好	6.2	8.8	10.0
	2~9	600	34	280	44		焼鈍 590℃	47.7	61.5	GL. 外	母 材 Welten- 60	180°良好	5.2	6.0	8.2
	8	670	34	280	47	(XI) Y-204 × YF-15⑩	溶接のまま	48.6	66.0	GL. 外	母 材 Welten- 60	180°良好	5.0	8.1	11.0
	9~13	600	34	270	43		焼鈍 590℃	48.6	62.8	GL. 外	母 材 Welten- 60	180°良好	3.4	4.0	7.6

250~260, 軟化域で Hv 200~210 と高くなっている。焼鈍によるかたさの低下は軟化域に多少みとめられるが、溶着鋼のかたさはほとんど変わらず良好な結果を示しており、衝撃特性 (図 12) と関連して、HT70 鋼のサブマージ・アーク溶接継手部の機械的性質は十分満足のできる結果となっている。

4.2.3 非調質 HT60 鋼の場合⁽⁶⁾

熱間加工用非調質 HT60 鋼 (Welten-60H) と調質 HT60 (Welten-60) を組合せ各種焼鈍条件、熱間加工条件 (熱間プレス) を変えた場合のサブマージ・アーク溶接継手試験を実施した。表 8 は試験結果をまとめたものである。機械的性質はいずれのワイヤおよびフラックスの組合せでも熱間プレス加工処理までは材料規定強度 ($\sigma_y \geq 45 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_B \geq 60 \text{ kg/mm}^2$) を満足するが、さらに熱間プレス加工後応力除去焼鈍を行なったものは強度が低下し

$\sigma_B = 57 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_y = 42 \text{ kg/mm}^2$ で溶着鋼破断になっている。このことは溶着鋼の強度特に降伏点が熱間加工により低下するからで、溶接継手部を含んで熱間加工を行なう場合は、溶着鋼強度低下の少ないワイヤ・フラックスの組合せ (IX) Y-204 × YF 15 ⑩ が望ましい。

図 15, 16 に各種ワイヤ・フラックスを組み合わせた場合の溶着鋼および、Bond 部の衝撃値を示す。溶着鋼の衝撃値は塩基度の高い YF-15 ⑩ の組合せが一番すぐれた値を示している。いずれのワイヤ・フラックスの組合せにおいても応力除去焼鈍によって衝撃値は低下するが、熱間プレスによって回復する。これは溶着鋼が焼ナラシ効果を受け組織が微細化するためである。溶接入熱量を 60 kJ/cm で溶接した場合の Bond 部の衝撃値は溶接のまま、熱間加工に比べ、焼鈍した際の衝撃値が低くなっている。この原

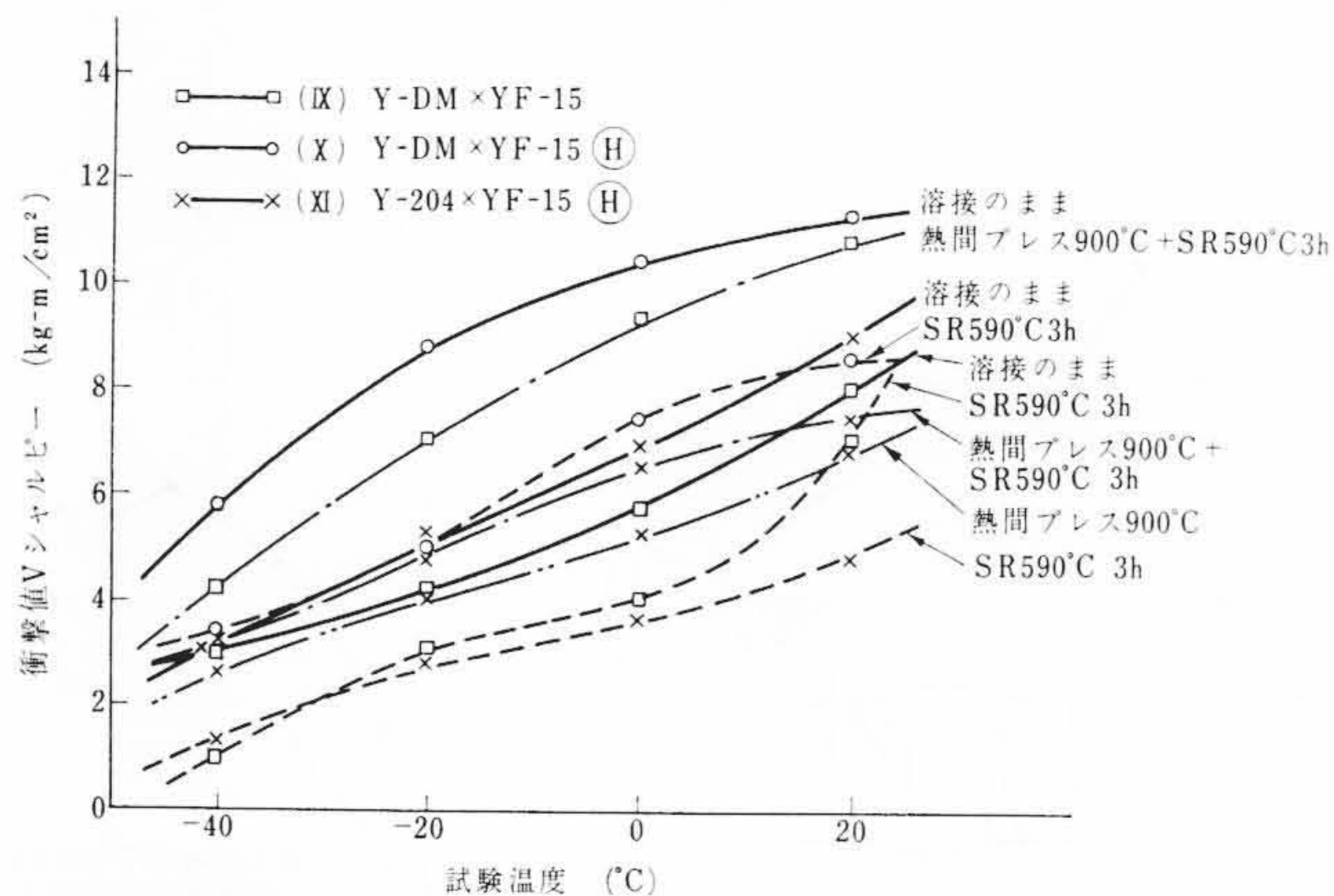


図 15 溶着金属の衝撃値と後熱処理熱間加工条件の関係 (非調質 HT 60 鋼)

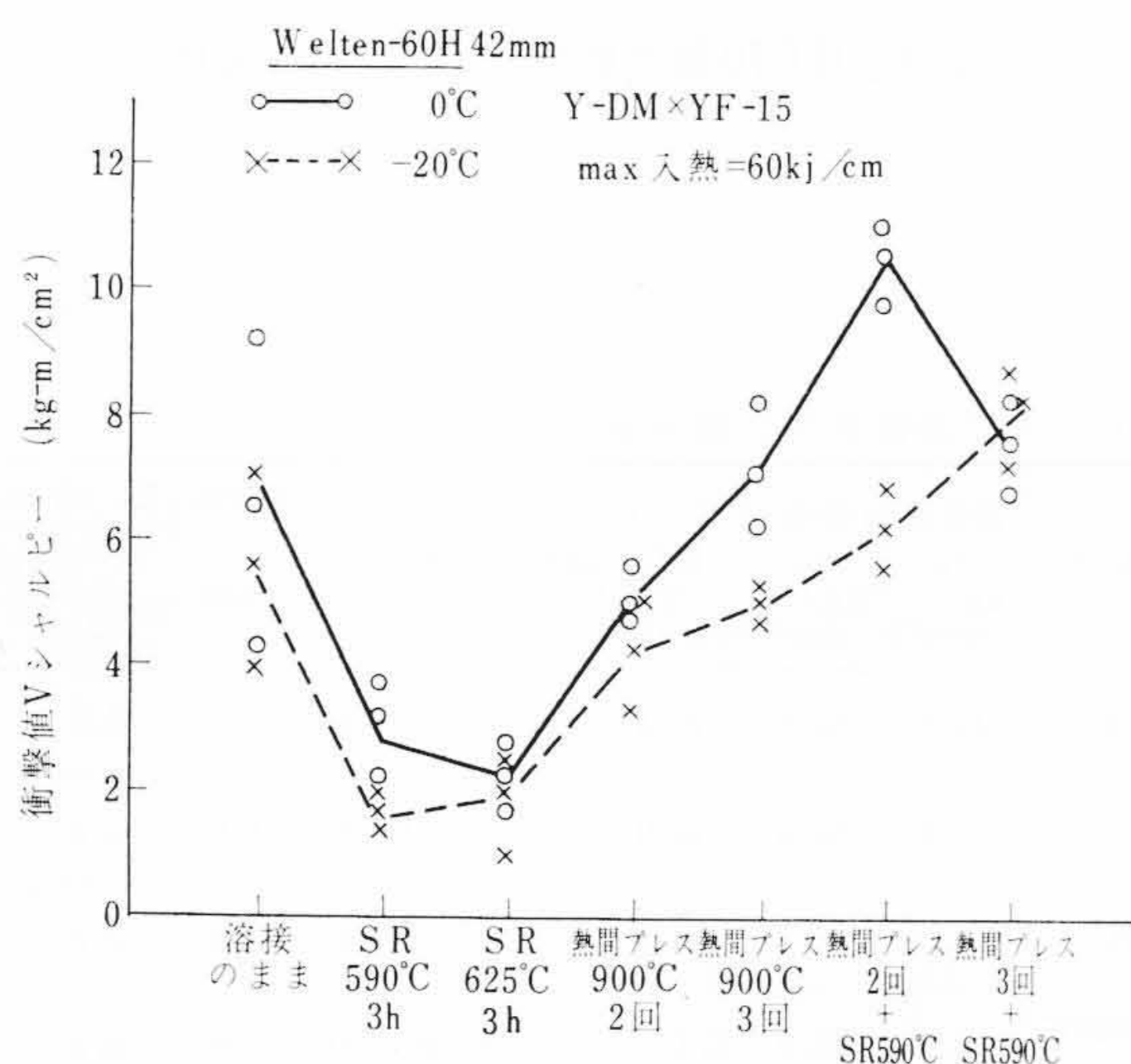


図 16 Bond 部の衝撃値と熱処理加工条件の関係 (非調質 HT 60 鋼)

図 18 に示す Bond のように、溶融温度近傍に加熱された粗大組織に、焼鈍により Nb, V などのカーバイド、ナイトライドが析出脆化するためと考えられる。したがって Bond 部の衝撃値の向上としては溶接入熱量を抑えることと、焼鈍温度を適正に選ぶことが必要である。表 8 に示す Y-DM x YF 15 ⑩ の組合せで入熱量を 47 kJ/cm に抑え焼鈍温度を 590°C にしたものは Bond 部の衝撃値は、 $E_0=6 \text{ kg-m/cm}^2$ に回復している。調質 HT 鋼の入熱制御と同様、非調質 HT 鋼でも入熱制御の必要性があることは興味深い結果である。図 17 にサブマージ・アーク溶接部のかたさ分布を示す。非調質 HT 60 鋼の HAZ の最高かたさは溶接のままで Hv=300 程度で焼鈍処理でも軟化しないが、熱間加工によりほとんど溶着鋼 HAZ を通して硬度差はなくなる。

図 18 に Welten-60H の溶接部各部の顕微鏡組織を示す。

4.3 手溶接継手性能確認試験

4.3.1 手溶接入熱制限試験

HT 60 鋼の溶接については一般的に予熱を適正に行なえば、実用上問題になる点はなく実績も多い。しかし水車ケーシングの現地溶接では立向き溶接のように遅い溶接速度で連続溶接を行なう場合もあり、母材温度がかなり高い状態で溶接されるため溶接部の冷却速度が遅くなって継手部の軟化、脆化する心配があるので、これに対する検討が必要である。また溶着鋼自体についても入熱による冷却速度の差から入熱が多くなれば引張強さ、衝撃値とも低下することが報告されている。そこで River-Ace 60 を用い

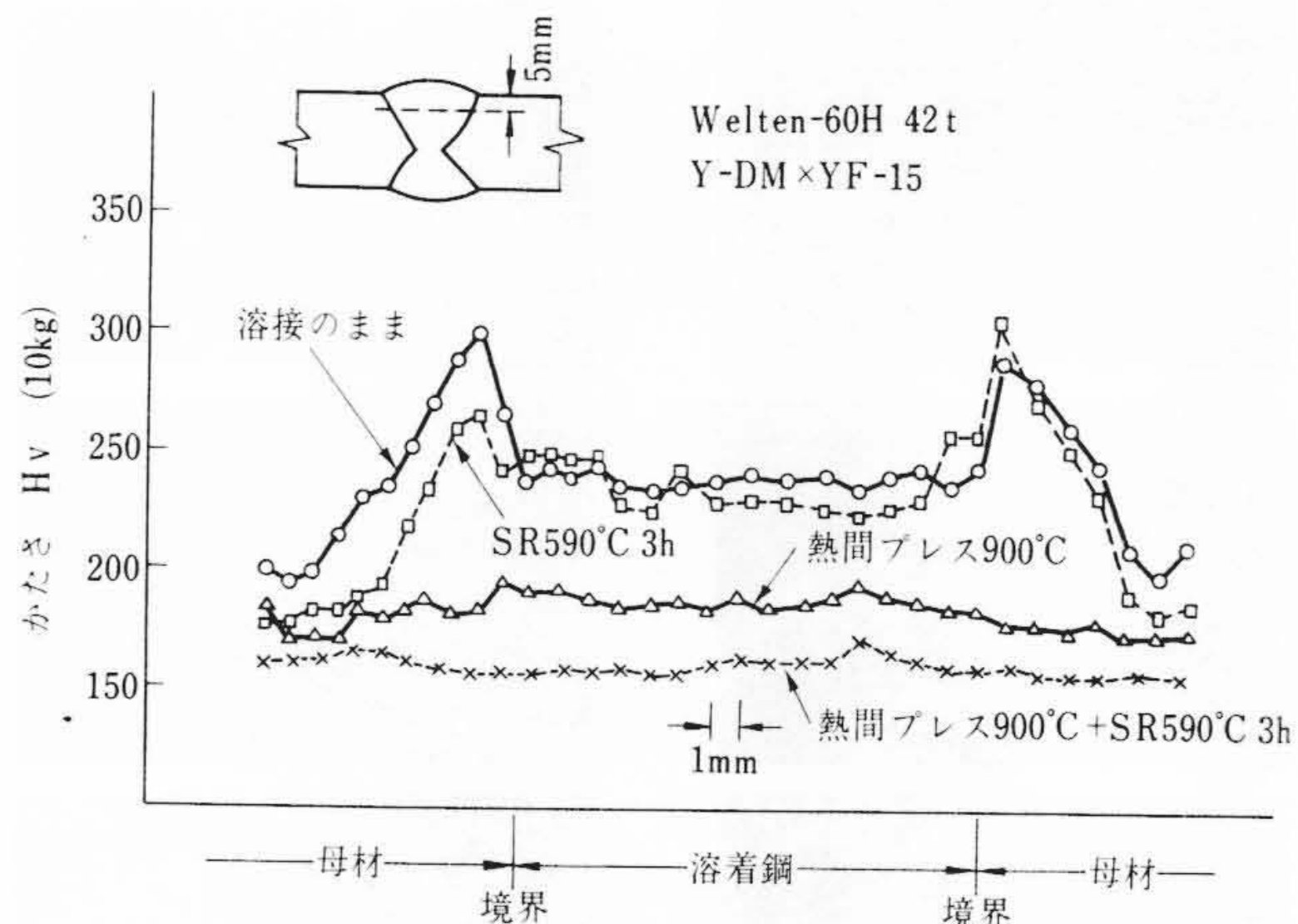


図 17 サブマージ・アーク溶接部のかたさ分布 (非調質 HT 60 鋼)

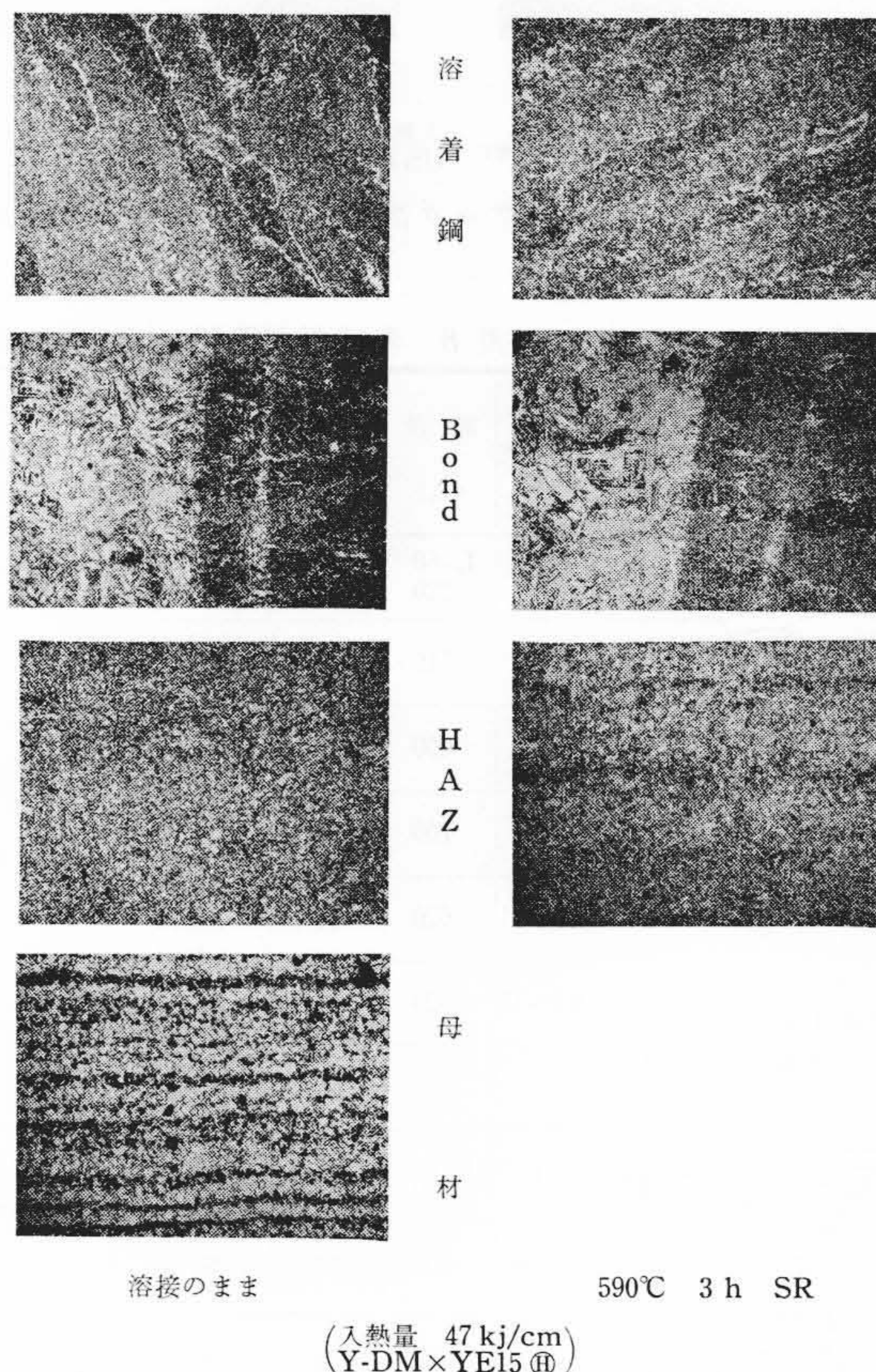


図 18 非調質 HT 60 鋼 (Welten-60H) サブマージ・アーク溶接継手部の顕微鏡組織 (×100)

手溶接について最も条件の悪い薄板を用い、入熱量の最も高くなる立向き姿勢でパス間温度を 150°C, 200°C とかえ入熱量を約 20~40 kJ/cm (135A, 23V, 5 cm/min) の範囲で溶接を行なった場合の機械的性質を調査した。引張試験、曲げ試験結果を表 9 に、衝撃試験結果を図 19 に示す。これらの結果、引張強さはいずれも規格値を満足しており、衝撃値も WES 規格 $E_{5-5}=6 \text{ kg-m/cm}^2$ を十分満足していることがわかった。以上の結果、HT 60 鋼については 40 kJ/cm 以下の入熱量 (この値は手溶接で実際施工上の最大入熱と考えられる) でパス間温度を 200°C 以下に抑えれば入熱条件について規定する必要がないことがわかった。

HT 70 鋼に関しても同様の試験を実施した。引張試験結果を表 10 に、衝撃試験結果を図 20 に示す。引張強さは 77 kg/mm^2 と十分規格値を満足しているが、入熱がふえるにしたがって破断位置は Bond, 溶着鋼に移っている。図 20 の衝撃特性をみると、溶

着鋼に比べ、Bond, HAZ の衝撃値は低い。この現象は HT 60 鋼に比べて顕著であり、HT 70 鋼では HT 60 鋼よりも入熱制限の必要がある。図 20 の結果、 E_{-5} は約 5~6 kg-m/cm² あり 16mm 厚では層間温度を 200℃ に保って入熱量を 35 kJ/cm 以下でやれば問題ない。表 11 に以上の結果を集約して HT 60~HT 70 鋼の標準入熱条件を示す。

4.3.2 手溶接継手性能確認試験結果

上記の結果をもとに標準溶接条件でもって、手溶接を行ない焼鈍条件を変えた場合の継手性能結果を調査した。表 12 に HT 60~HT 70 各鋼種の手溶接継手性能をまとめて示す。いずれも 600℃ 以下の焼鈍条件では問題ない機械的性質を示している。衝撃値も溶着鋼, Bond, HAZ いずれも $E_0 \geq 10$ kg-m/cm² 以上で良好な結果を示している。

5. 加工性試験

5.1 冷間加工性、ひずみ時効性試験 (HT 60 鋼)

5.1.1 HT 60 鋼の冷間ロール曲げ特に溶接継手を含む場合

水車ケーシングを製作する場合、一般には数枚の鋼板を溶接した大きな板からケーシング材を切り出してロール曲げ作業が行なわれる。一般に軟鋼では溶接後焼鈍して冷間ロール曲げ作業を行なうので問題はないが、HT 鋼では溶接のままで冷間曲げを行な

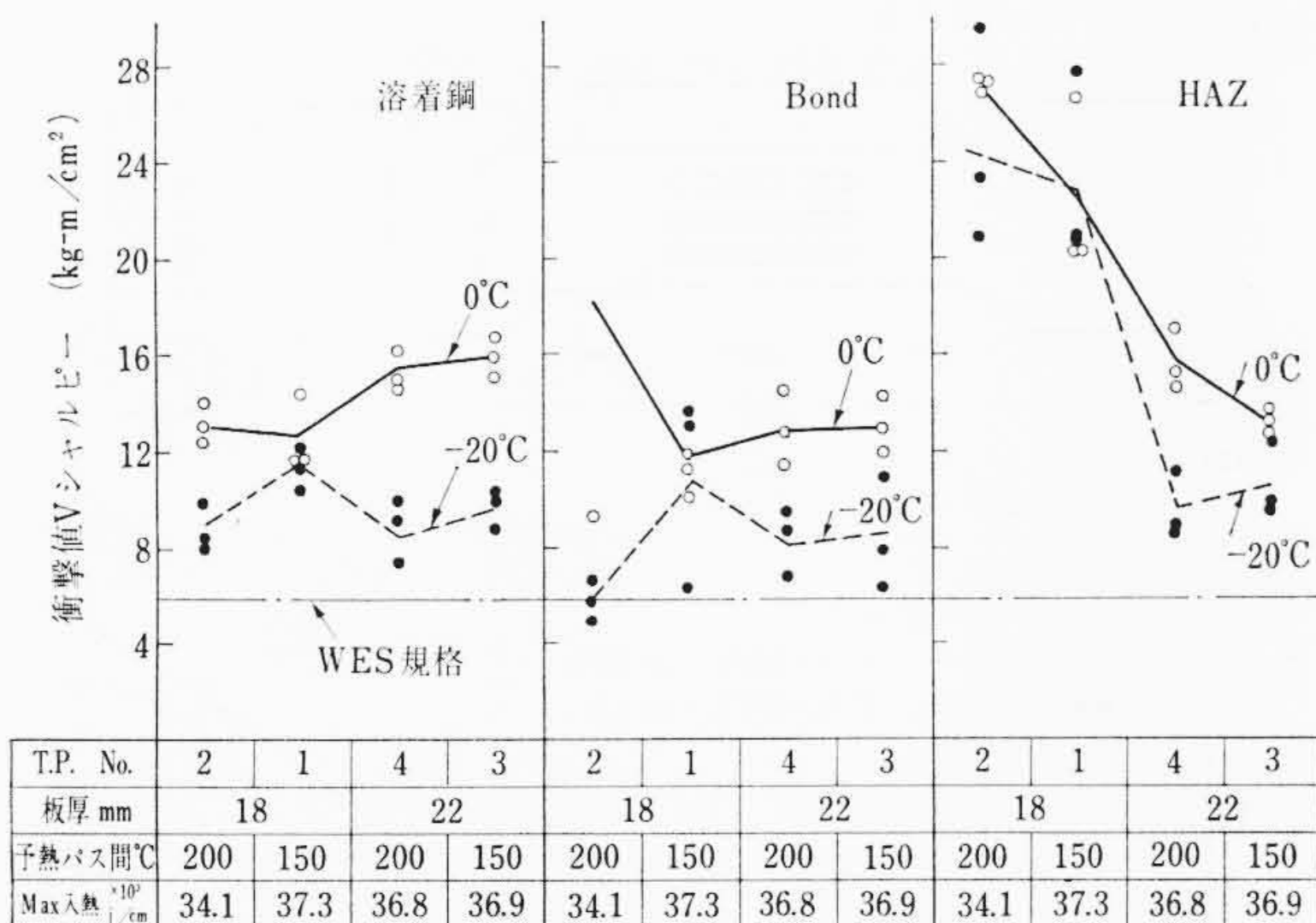


図 19 HT 60 鋼手溶接部の板厚予熱パス間温度と衝撃値の関係 (River-Ace 60)

表 9 HT 60 鋼 (River-Ace) 手溶接上限入熱試験結果 (立向き)

積層法	溶接条件	入熱量 (kJ/cm)	予熱パス間温度 (°C)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	破断位置	側曲げ試験 R=19mm 180°	自由曲げ試験 (30%以上)
L-60 4φ	I=110~140A E=23V S=5~9cm/min	18.2	150	65.1	母材	良好	合格(38.5)
		37.2	200	63.9	母材	良好	合格(35.6)
				64.8	HAZ	良好	合格(32.2)
				66.3	HAZ	良好	合格(39.4)
L-60 4φ	I=110~140A E=23V S=4.5~7.5	21.1	150	62.7	母材	良好	合格(31.5)
		42.9	200	65.8	母材	良好	合格(30.2)
				63.7	HAZ	良好	合格(34.5)
				64.4	母材	良好	合格(37.8)

表 10 HT 70 鋼 (Welcon-2H-super) 手溶接上限入熱試験結果 (立向き)

積層法	溶接条件	入熱量 (kJ/cm)	予熱パス間温度 (°C)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	破断位置	側曲げ試験 R=19mm 180°	かたさ Hv (10 kg)
LH70S 4φ	I=135~145A E=23V S=7.5~10 cm/min	19.1	200℃	77.9	母材	良好	212
		30.0		77.2	母材	良好	
LH70S 4φ	I=130~145A E=23V S=5.5~6.5 cm/min	31.5	200℃	76.7	溶着金属	良好	208
		37.0		77.1	Bond	良好	

うのでロール曲げ作業時溶接線より割れの生ずる心配がある。このため大形実物試験片として一枚の板に T 字形継手を 2 箇所含む 23 mm 厚, Welcon-2H 鋼(3,000×1,500) についてサブマージ・アーク溶接 (US 49×MF 38, 800A, 24V, 20 cm/min, 80 kJ/cm) を行ない曲げひずみ率 2.25~2.75% でロール巻げ作業を行ない、溶接部の性能を調査した。図 21 にロール曲げ後溶接線をカラーチェックした結果を示す。この結果はいずれも欠陥はなく、溶接部の性能もすべて母材強度を満足し、衝撃値もすべて $E_0 \geq 6$ kg-m/

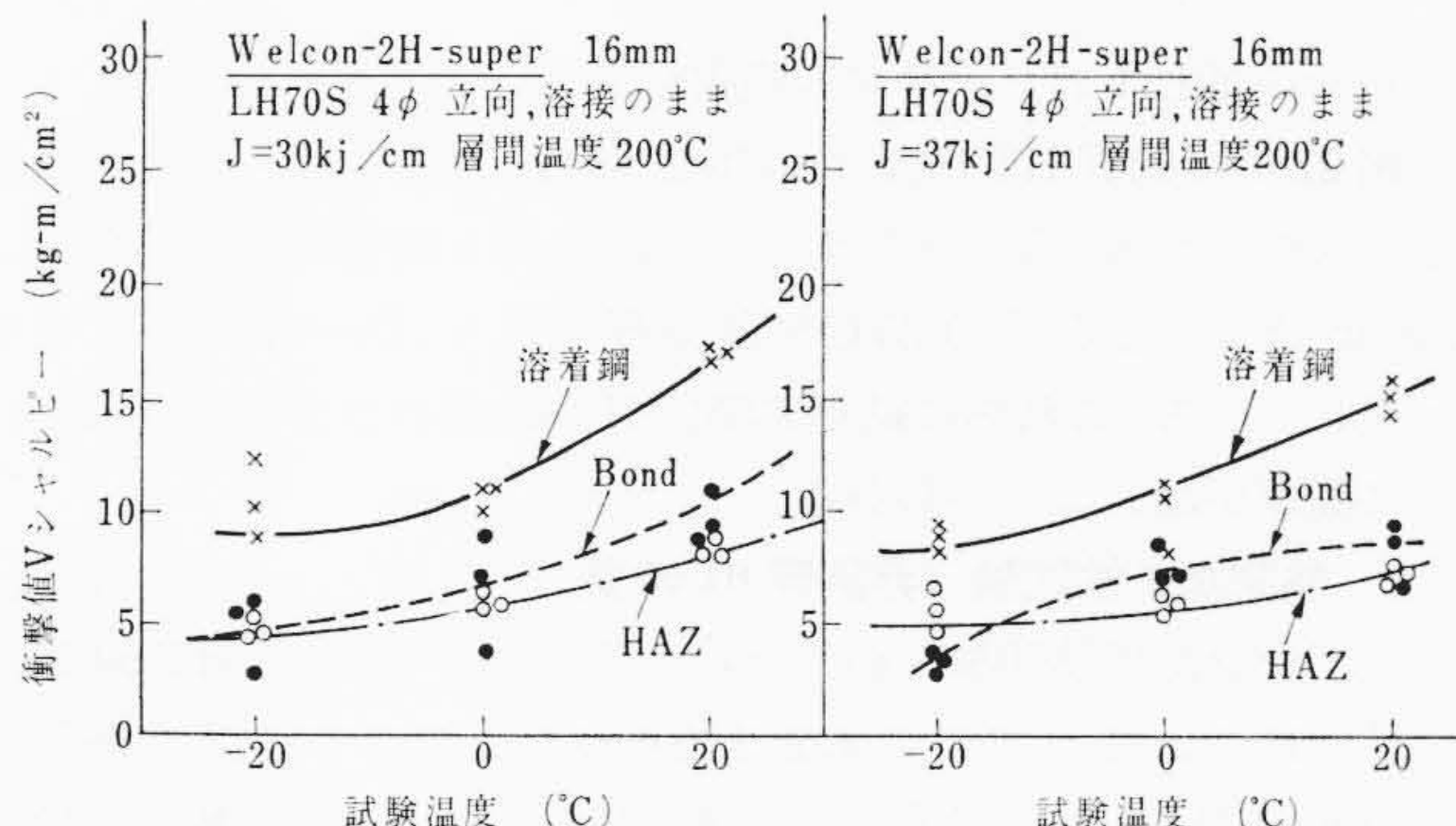


図 20 HT 70 鋼手溶接継手部衝撃値と入熱量の関係

表 11 HT 60~HT 70 鋼の標準入熱条件 (手溶接およびサブマージ・アーク溶接)

	調質 HT 60 鋼				調質 HT 70 鋼				非調質 HT 60 鋼			
	板厚 (mm)	予熱温度 (°C)	層間温度 (°C)	許容入熱量 (j/cm)	板厚 (mm)	予熱温度 (°C)	層間温度 (°C)	許容入熱量 (j/cm)	板厚 (mm)	予熱温度 (°C)	層間温度 (°C)	許容入熱量 (j/cm)
手溶接	≤22	50	200	制限なし	≤12	100	200	35,000	≤16	100	200	35,000
	≤30	80		制限なし	≤16	100		35,000	≤30	150		45,000
	≤34	100		制限なし	≤30	150		制限なし	≤45	200		制限なし
	≤50	150		制限なし	≤40	200		制限なし				
サブマージ・アーク溶接	≤20	RT	200	65,500	≤12	RT	200	35,000	≤16	RT	200	30,000
	≤22	RT		71,500	≤16	RT		35,000	≤30	100		43,000
	≤25	RT		80,000	≤30	100		40,000	≤45	100		47,000
	≥28	RT		制限なし	≤40	100		50,000				

表 12 HT60, HT70 鋼 手溶接継手性能試験結果

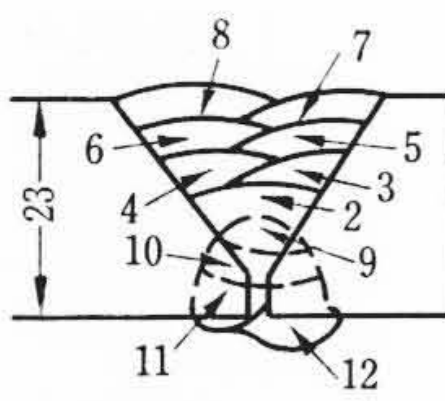
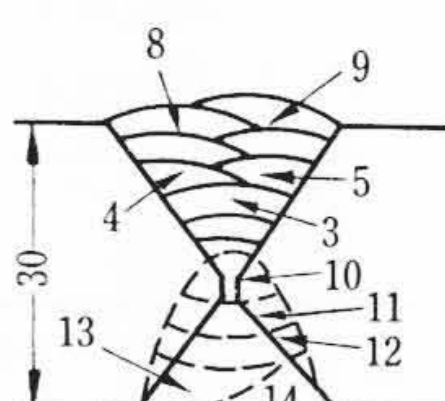
積 層 法	溶 接 条 件	入 熱 量 (kj/cm)	鋼 材 (溶 接 棒)	熱 処 理 条 件	降 伏 点 σ_y (kg/mm ²)	引 張 強 さ σ_B (kg/mm ²)	破 断 位 置	側 曲 げ 試 験 (R=2t)	Vシャルピー vE_0 (kg-m/cm ²)		
									溶 着 鋼	Bond	HAZ
	I=180A E=23V S=12~21 cm/min	12.5~25	Welcon-2H LB62	溶接のまま	—	64 64	母 材 材	良 好 好	11.5	10.3	13.2
				570℃ SR ×1h	55 55	64 64	母 材 材	良 好 好	11.9	19.5	19.6
				600℃ SR ×1h	55 55	64 64	母 材 材	良 好 好	12.0	19.6	18.1
				630℃ SR ×1h	39 43	54 55	母 材 材	良 好 好	10.4	15.5	14.3
	I=260A E=23V S=15~21 cm/min	16~20	Welcon-2H-super LB106	溶接のまま	—	74 73.2	母 材 材	良 好 好	13.5	15.0	20.8
				580℃ SR ×3h	—	72.5 72.2	母 材 材	良 好 好	13.8	18.3	13.5
				溶接のまま	—	74.3 73.1	母 材 材	良 好 好	15.2	8.2	17.5
				580℃ SR ×3h	—	72.5 73.0	母 材 材	良 好 好	13.2	14.5	19.1

表 13 供試非調質 HT 60 鋼 (Welten-60H) の鏡板製作時の機力変化

ステップ No	熱処理・熱間加工条件	機 械 的 性 質 (JIS 4号)						衝 撃 値 vE_s (kg-m)	
		L 方 向			C 方 向			L方向	C方向
		σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	EL (%)	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	EL		
1	素材 Nor 930℃ 30' AC	47	62	32	—	—	—	17.8	—
2	熱間プレス 850℃ 加熱	46.4	64.9	34	—	—	—	—	—
3	スピニング 820~920℃加熱	46.9	61.1	34	45.0	59.0	37.8	12.3 14.4	17.3 16.7
4	スピニング後焼鈍 570℃ 3h	46.3	61.4	35.6	44.2	58.9	34.8	16.3 17.2	13.0 11.4
5	スピニング後焼鈍 590℃ 3h	45.4	60.5	35	44	58.7	36	15.6 16.3	12.8 12.2
6	スピニング後焼鈍 610℃ 3h	46.3	60.5	36.2	43.6	58.0	34	—	—
7	スピニング後 Nor 900℃ 1h 焼鈍 590℃ 3h	47.9	60.6	37.2	46.5	58.8	36.8	19.5 19.1	15.0 19.0

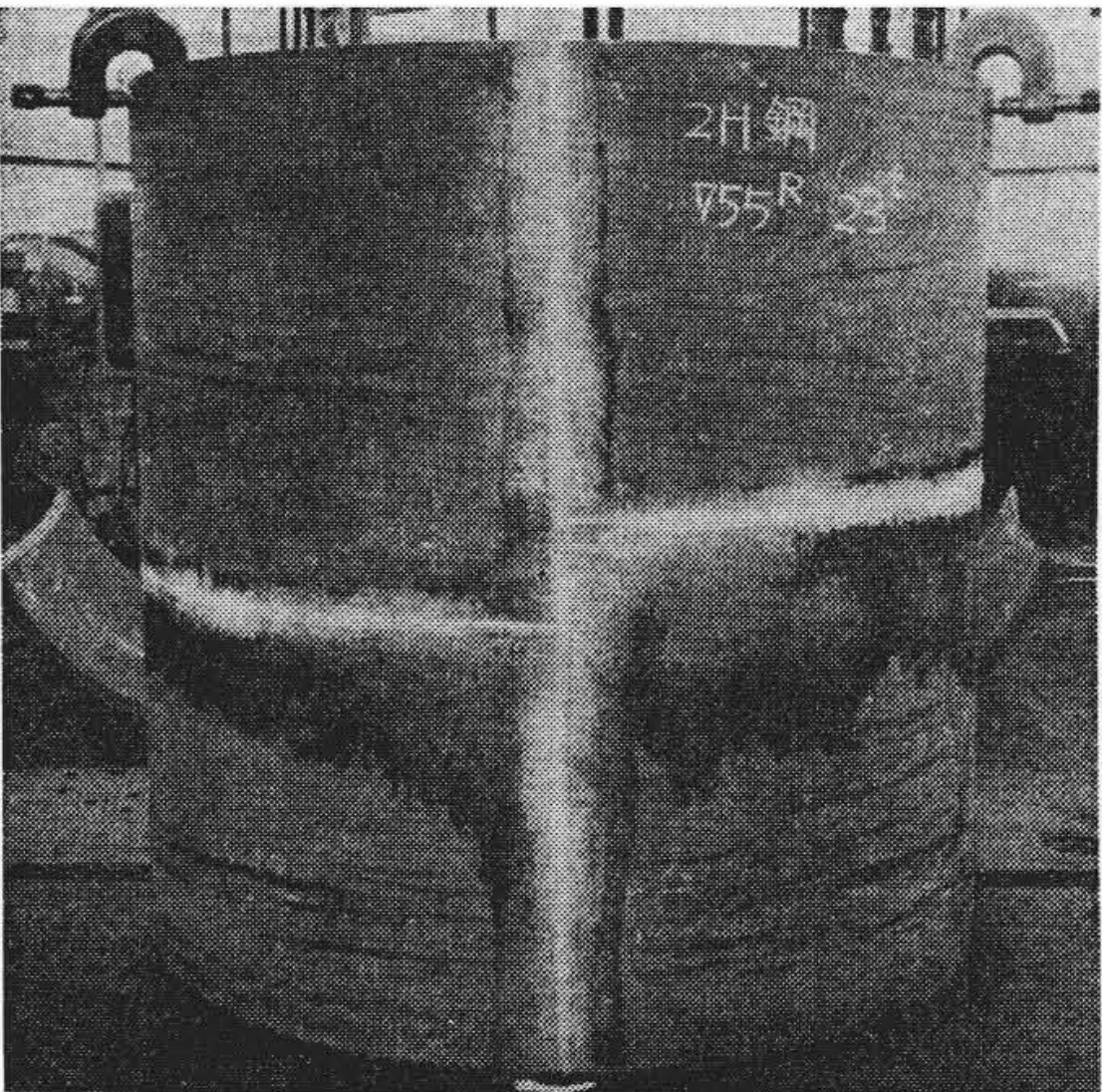
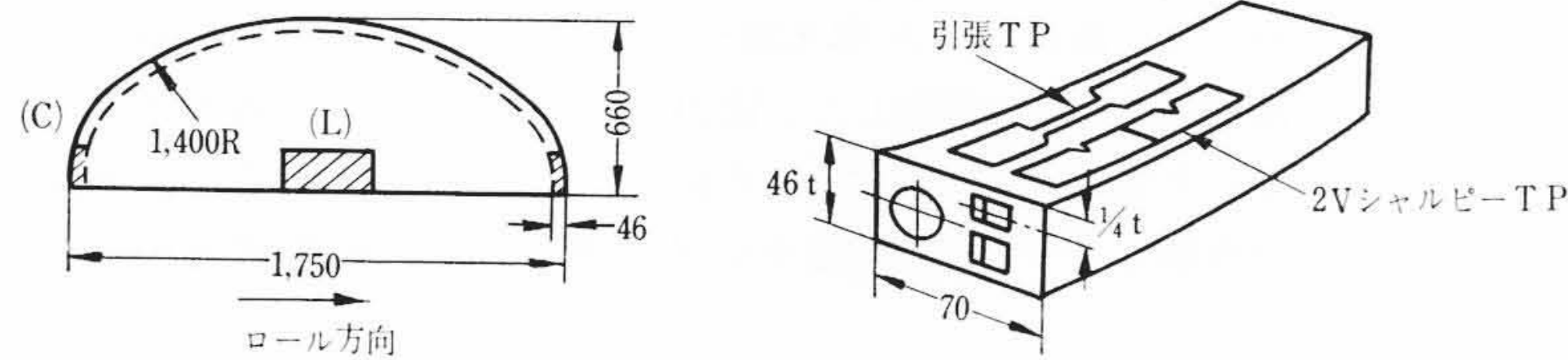


図 21 ロール曲げ大形試験板カラーチェック外観



cm² を満足しており、ひずみ脆化が少ないことがわかった。

図 22 は非調質 HT 60 鋼 (Welten-60H) 材のひずみ時効特性を示すものである。5% 予ひずみ +250℃×1h 時効処理で $vE_0=4.5$ kg-m ほどになるが、625℃ 焼鈍処理により $vE_0=5.5$ kg-m まで回復している。これらの結果非調質 HT 60 鋼のひずみ時効については問題がないことがわかる。

5.2 熱間加工性試験 (非調質 HT 60 鋼)

溶接部を含んで熱間加工が行なわれる場合の非調質 HT 60 鋼の継手性能についてはすでに 4.2.3 で述べた。ここでは実際供試鋼 (Welten-60H) を用いて鏡板を製作した場合の各製作過程における鏡板の材力変化について調査した。鏡板の形状は表 13 に示すとおり板厚 46 mm 1,750 mm 径の大形鏡板である。材力変化は表 13 に示すとおりで、850~900℃ 前後の温度における熱間プレス、スピニング処理での材力変化は少なく、安定した値を示している (No. 2, No. 3)。またロール直角方向 (C 方向) の値はロール方向 (L 方向) に比べ σ_y , σ_B が 1~2 kg/mm² 低いが、スピニング処理後、焼ナラシ処理を施すことにより V の析出がおこり、材力は回復を示している (No. 7)。衝撃値はいずれも 13~20 kg-m の値を示しすぐれた熱間加工性能を示している。

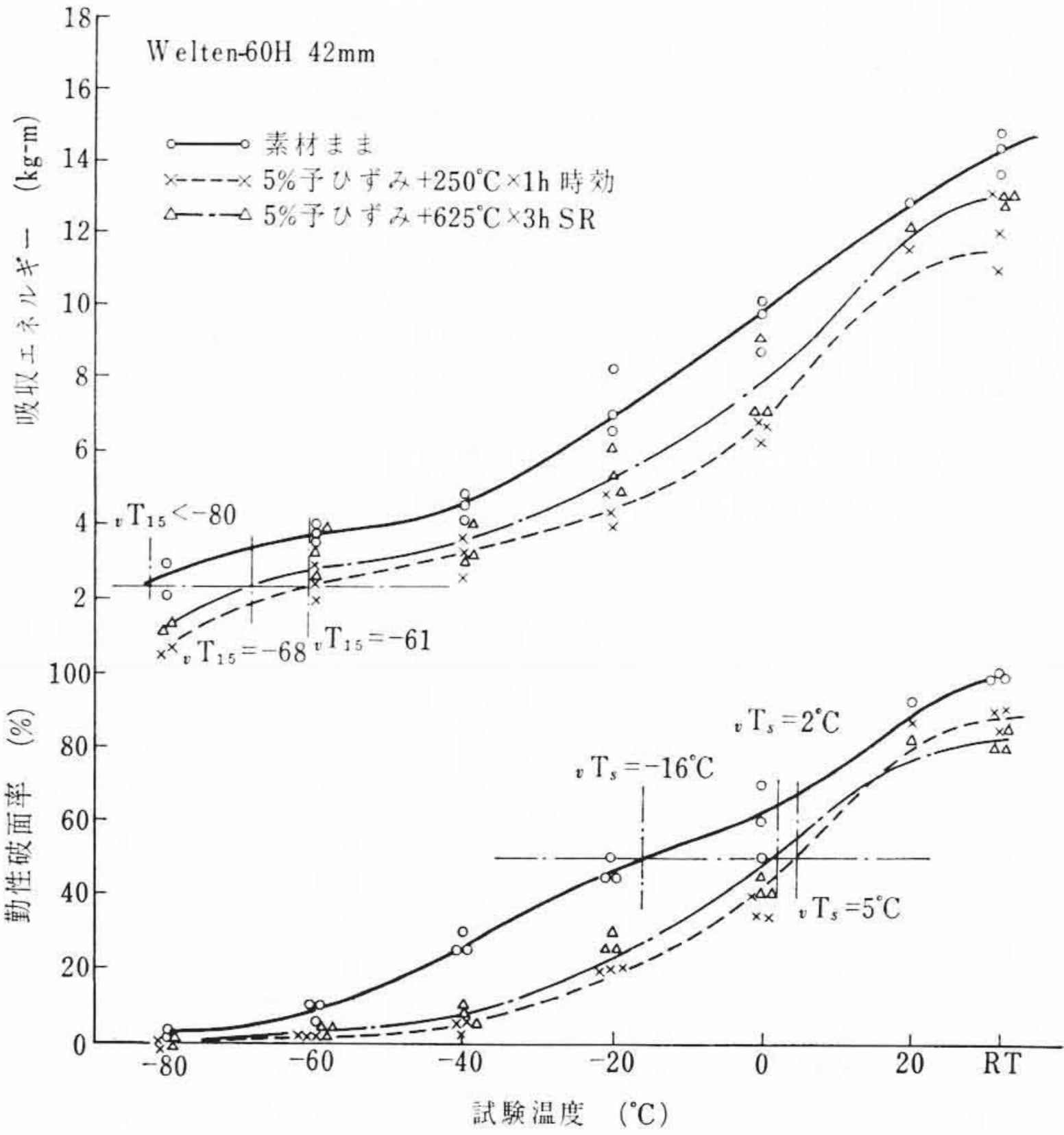
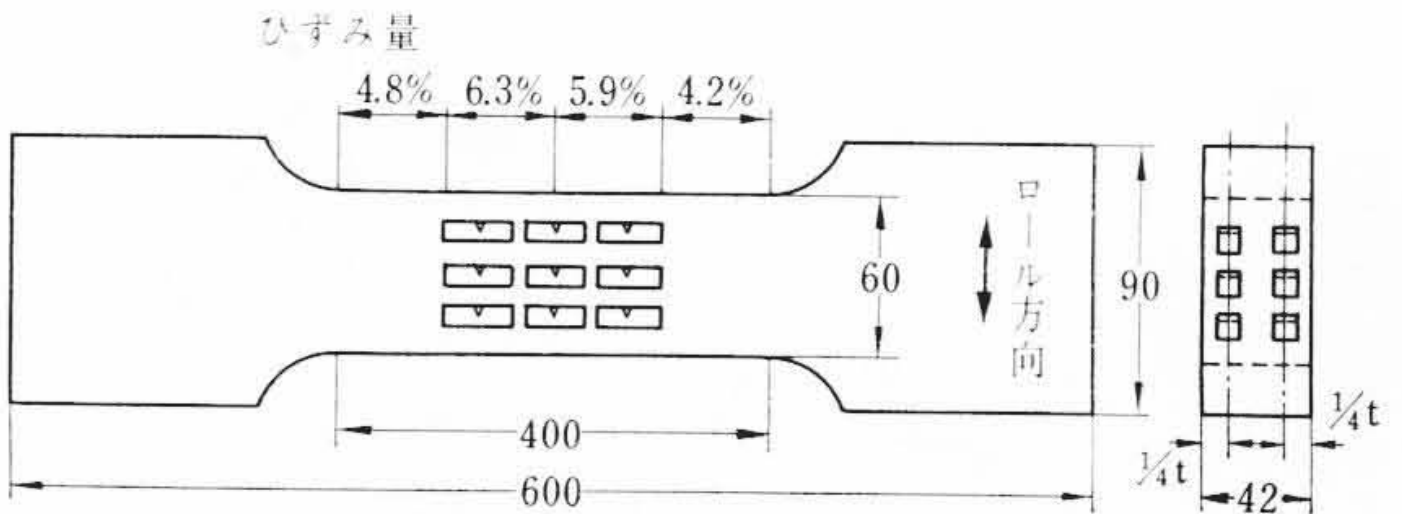


図 22 非調質 HT 60 鋼 (Welten-60H) のひずみ時効特性

6. 結 言

以上調質 HT60~HT70 鋼および非調質 HT60 鋼の溶接性および

溶接継手性能, 加工性について基礎試験を実施し, 製作上の問題点について報告した。これらの結果を要約すると次のとおりである。

(1) HT 60~HT 70 鋼の溶接性, 溶接継手性能を検討した結果, これら HT 鋼の標準入熱条件として表 11 に示す溶接条件を提案した。この結果によれば, 各鋼種, 各板厚に応じた入熱制御が必要であることがわかった。予熱は最高 200℃ までの予熱が各鋼種, 板厚に応じて必要である。

(2) 調質 HT 60 鋼は溶接性が最も良好で, 調質 HT 70 鋼, 非調質 HT 60 鋼は同程度で, 調質 HT 60 鋼に比べやや劣るが標準施工条件範囲であれば全く問題がない (図 1, 4, 5, 表 4 参照)。また本研究でとり上げた供試市販 HT 鋼はいずれも実用上問題のない優秀な HT 鋼であることがわかった。

(3) 上記入熱制限, 予熱, 層間温度を規格どおりの作業により溶接施工した場合, 手溶接, サブマージ・アーク溶接部の継手性能はいずれも母材の規定材力を満足した結果を示した (図 6, 7~10, 表 10, 12 参照)。

(4) 調質 HT 60, HT 70 鋼の手溶接継手およびサブマージ・アーク溶接継手を各種応力除去焼鈍を行なった場合, 600℃ までの焼鈍温度では材力は母材強度以上を示し, 衝撃特性はいずれも $E_0 \geq 6 \text{ kg-m/cm}^2$ を満足し良好な結果を得た (図 8~14, 表 7, 12 参照)。

(5) 非調質 HT 60 鋼のサブマージ・アーク溶接部の継手性能は衝撃特性を除いて問題なく, 熱間加工性もすぐれていることがわかった。ただし熱量の増大, 焼鈍処理条件によって熔融温度近辺に加熱された粗粒組織中に Nb, V などのカーバイド, ナイトライドが析出脆化し, Bond の衝撃値が低下する傾向が認められた。このため入熱量を 47,000 j/cm 以下, 焼鈍条件を 590℃ に選ぶ必

要があることがわかった (図 16, 18, 表 8 参照)。

(6) 非調質 HT 60 鋼 (Welten-60 H) の実物鏡板試験結果, 本鋼はすぐれた熱間加工による材力安定性を示し, ひずみ時効による劣化も少ないことがわかった (表 13, 図 22 参照)。

(7) 以上各種 HT 鋼用溶接棒およびサブマージ・アーク溶接用ワイヤ・フラックスの組合せのうち次のものが溶着金属の性能のよいことがわかった。

調質 HT 60, 非調質 HT 60 鋼用		$\left\{ \begin{array}{l} \text{手溶接棒 (LB 62, L-60)} \\ \text{サブマージ・アーク溶接 (US 49} \times \text{MF 38)} \\ \text{アーク溶接 (Y-DM} \times \text{YF 15} \text{⑩)} \end{array} \right.$
調質 HT 70 鋼用		$\left\{ \begin{array}{l} \text{手溶接棒 (LH70S, LB106)} \\ \text{サブマージ・アーク溶接 (US 49} \times \text{PFH 80)} \end{array} \right.$

(8) 調質 HT 鋼のアーク・ストライキを補修する方法として, 予熱, テンパービード法を提案した (表 5)。

終わりに本研究実験に対し, いろいろご協力をいただいた, 八幡製鉄株式会社, 八幡溶接棒株式会社, 株式会社神戸製鋼所, 川崎製鉄株式会社, 株式会社日本製鋼所, 富士溶接棒株式会社の各関係各位に対し深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 妹島, 石原, 松本: 溶接技術 1966 年 4 月号 p.18~24
- (2) 岡田, 大原, 小林: 日本製鋼技報 1965-20 号, p.38~48
- (3) 田村, 小林, 石原: 日立評論 46, 1421 (昭 39-9)
- (4) 稲垣, 中村, 岡田: 溶学誌 1965 年 10 月 p.1064
- (5) 稲垣: 日本機械学会誌第 67 巻第 548 号 p.1319~1329, (Sep. 1964)
- (6) 妹島, 石原: 溶学誌 Vol. 36, No. 3, 1967, p.300

Vol. 50

日 立 評 論

No. 6

目 次

■ 論 文

- Fe-Ni-Mn 整 磁 鋼 の 研 究
- 60~70 kg/mm² 級高張力鋼の溶接性, 加工性および水力機器への応用 (その二, 製作実績)
- 原子炉格納容器ドライウエルの応力解析
- 太陽電池使用無線テレメータ装置
- 非対称軸コンデンサ電動機のトルク特性
- 灯油燃焼用高性能ポット形バーナの開発
- HITAC 8000 用 ディスク 駆 動 装 置

- レジストレーション・スプロケットおよび回転円板シャッタを使用した回転プリズム式高速度カメラの開発
- 日立全自動冷蔵庫の開発
- OF ケーブル線路の給油計算に関する一般的方法

■ ロール特集

- 熱間圧延用ワークロールのかみどめ熱き裂
- ホットストリップミル仕上前段用ワークロールの問題点—ホットコイルの流星きずとロールの肌荒れについて—
- 超大形鋳鋼製厚板補強ロールの製造
- 4重圧延機用補強ロールの適正研磨量の決定に関する一考察

発行所 日 立 評 論 社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
振替口座東京71824番
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替口座東京20018番