
低温用低炭素 Al キルド鋼 KL33A および KL33B について

Low Carbon Aluminum Killed Steel Plates for Low Temperature Use. -KL33A and KL33B-

有村 康男(Yasuo Arimura) 安田 達(Tohoru Yasuda) 片伯部 忠行(Tadayuki Katakabe)

要旨：

KL33A, および KL33B は, 液化プロパン用 (-45℃) よりさらに低温で使用する鋼板として, 川崎製鉄 (株) が開発したものである。KL33A は焼ならし, KL33B は焼入れ焼もどし処理をほどこした鋼板であり, いずれも良好な機械的な質, 切欠靱性を有している。また溶接性もすぐれており, 熱影響部の最高硬さは Hv250 以下, -50℃での溶接ビード曲げ試験の表面伸びは 30%以上であり, 斜め y 型拘束割れ試験ルート割れ阻止温度は 20℃以下である。

Synopsis：

This paper introduces KL33A and KL33B steel plates suited for applications at temperatures lower than -45℃ for liquified propane. KL33A is normalized and KL33B quench-tempered, both having good mechanical properties and notch toughness. They have excellent weldability, with maximum hardness at heat-affected zone being Hv 250 and under, surface elongation at the bend test of weld bead at -50℃ being 30% and up, and temperatures at which to prevent root cracking under inclined Y-groove restricted cracking tests are 20℃ and under.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

低温用低炭素 Al キルド鋼 KL 33A および KL 33B について

Low Carbon Aluminum Killed Steel Plates for Low Temperature Use.
—KL 33A and KL 33B—

有 村 康 男*

Yasuo Arimura

安 田 達**

Tohoru Yasuda

片 伯 部 忠 行***

Tadayuki Katakabe

Synopsis:

This paper introduces **KL 33A** and **KL 33B** steel plates suited for applications at temperatures lower than -45°C for liquified propane. **KL 33A** is normalized and **KL 33B** quench-tempered, both having good mechanical properties and notch toughness. They have excellent weldability, with maximum hardness at heat-affected zone being Hv 250 and under, surface elongation at the bend test of weld bead at -50°C being 30 % and up, and temperatures at which to prevent root cracking under inclined Y-groove restricted cracking tests are 20°C and under.

1. 緒 言

Al キルド鋼は、そのすぐれた切欠靱性と溶接性により、従来より、産業機械、橋梁、建築、船舶などの溶接構造用鋼板、および -45°C 程度までの温度で使用される低温用鋼板として、各々の使用分野で大きな役割を果たして来た。

近年、石油化学工業などの発展にともない、これらの温度よりさらに低温での使用に耐える Al キルド鋼の需要が増加して来た。本報告は、これらの需要に応じて、当社が開発した通常の液化プロパン用 (-45°C) よりさらに低温の用途に適用する低炭素 Al キルド鋼板「KL33A および KL33B」の機械的性質と溶接性について述べたものである。

KL33A は、圧延後焼ならし処理を施こしており、KL33B は、圧延後焼入れ焼もどし処理を施こしてある。両鋼種とも厚さ 50 mm まで低温構造用鋼板として日本溶接協会より認定されてお

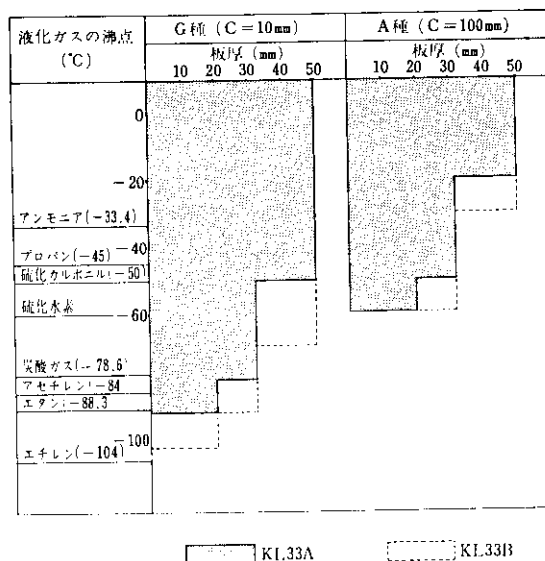


図 1 各種液化ガスの沸点と KL33A および KL33B の WES 認定資格

* 千葉製鉄所管理部部長

*** 千葉製鉄所管理部厚板管理課課長

** 千葉製鉄所管理部厚板管理課課長

り，その認定資格を図1に示す。

2. 母材の特性

軟鋼の低温靱性を改善する方法としては，次のようなものが考えられる。

- (1) フェライト地に固溶しているCをできるだけ少なくする。
- (2) 適当な合金元素の量を増加させることにより，フェライト地を強くする。
- (3) 結晶粒を微細化する。
- (4) 炭化物，窒化物を微細に分散させる。
- (5) P, Sなどの不純物元素の量を減少させる。

「KL33A および KL33B」は，これらの考えに基づいて開発されたもので，C含有量をできるだけ低く押え，フェライト地を強化するために Mn 量を高くし，Mn/C を約 15 以上とした Si-Mn 鋼に，Al による細粒化処理を施し，焼ならし，または焼入れ・焼もどし処理により，結晶粒の微細化ならびに炭化物，窒化物を微細に分散させている。さらに必要に応じて，Al キルド鋼としての経済性を害なわない程度の Ni を添加することにより，フェライト地の強化を図っている。

図2に低炭素 Al キルド鋼のフェライト結晶粒度と 2mmV ノッチシャルビー衝撃試験における破面遷移温度 (vTs) との関係，図3に Mn/C と NRL 落重試験の NDT との関係を示す。これらの結果より，フェライト結晶粒が細粒で，Mn/C が大きいほど，低温靱性が良好であることがわかる。

しかしながら，たんにC%を下げるのみでは，低温靱性は改善されない。表1に同一溶鋼から製造したC%の異なる Al キルド鋼の化学成分を，図4にそれらの熱処理条件による機械的性質の変

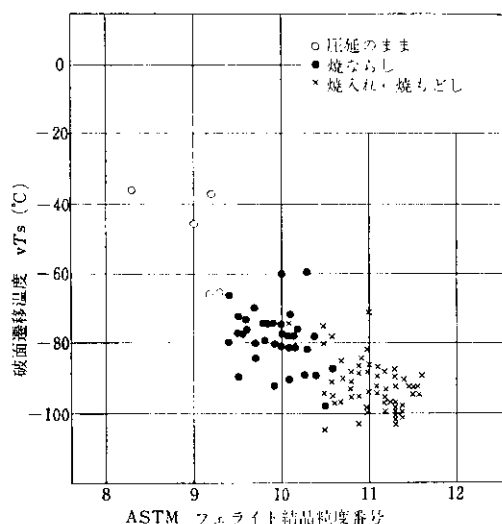


図2 2mmV ノッチシャルビー衝撃試験における破面遷移温度とフェライト結晶粒度番号との関係 (Alキルド鋼 C:0.04~0.07%, Mn:1.20%)

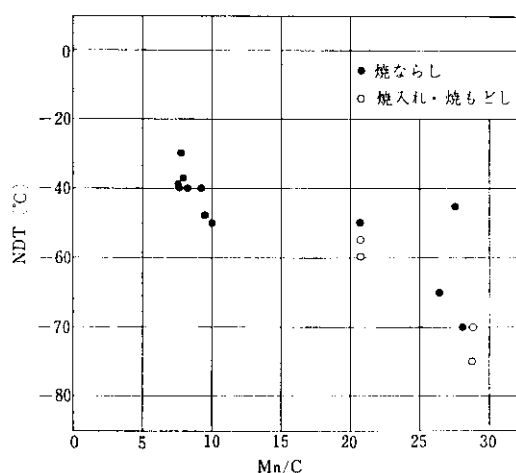


図3 NRL 落重試験における NDT と Mn/C との関係 (Alキルド鋼, PI 型試験片)

表1 同一溶鋼より製造したC%の異なる鋼板の化学成分 (Alキルド鋼)

鋼 材	照 合 分 析 値 (wt%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	sol-Al
A	0.015	0.27	1.23	0.011	0.014	0.04	0.19	0.01	0.016
B	0.046	0.27	1.25	0.011	0.015	0.04	0.18	0.01	0.021

表 2 KL33AおよびKL33Bの化学成分規格

鋼 種	熱 処 理	化 学 成 分 (%)					
		C	Si	Mn	P	S	Ni※
KL33A	焼ならし	≤0.14	0.15~0.45	1.00~1.50	≤0.030	≤0.030	—
KL33B	焼入れ・焼もどし	"	"	"	"	"	—

※ 必要により0.1~0.3%添加

表 3 KL33AおよびKL33Bの機械的性質の規格

鋼 種	引 張 試 験				曲 げ 試 験		衝撃試験
	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び 厚さ t (mm)	(%)	試験片 JIS	曲げ角度 曲げ半径	
KL33A	≥33	≥41	t = 6 t = 24	≥25 ≥34	5 号 "	180° (t<32)	WESの規定 による
KL33B	"	≥45	t > 24	≥23	4 号	2.0t (t≥32)	

表 4 KL33AおよびKL33Bの化学成分

鋼 種	熱 処 理	板厚	照 合 分 析 値 (wt %)							
			C	Si	Mn	P	S	Ni	sol-Al	Ceq *
KL33A	焼ならし	20	0.05	0.28	1.38	0.010	0.013	0.20	0.034	0.31
"	"	25	0.06	0.21	1.32	0.011	0.013	0.25	0.040	0.30
"	"	32	0.05	0.29	1.39	0.009	0.014	0.20	0.029	0.32
"	"	35	0.06	0.21	1.30	0.011	0.013	0.25	0.038	0.30
"	"	50	0.05	0.29	1.39	0.011	0.007	0.22	0.035	0.31
KL33B	焼入れ・焼もどし	20	0.05	0.40	1.44	0.006	0.008	0.21	0.032	0.32
"	"	25	0.06	0.21	1.30	0.011	0.014	0.25	0.040	0.30
"	"	32	0.05	0.41	1.44	0.006	0.009	0.22	0.030	0.32
"	"	35	0.07	0.21	1.29	0.012	0.014	0.24	0.039	0.31
"	"	50	0.06	0.29	1.31	0.010	0.008	0.23	0.030	0.30

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

化を示すが、0.046% C鋼の方が0.016% C鋼に比べて、熱処理後のフェライト結晶粒が細かく、このため2mmVシャルピー衝撃試験の破面遷移温度は0.016% C鋼に比べて0.046% C鋼の方が10°~20°C低い。一般に、40kg/mm²以上の引張強さと、すぐれた切欠靱性を有する低炭素 Al キルド鋼を安定して製造するには、0.03%~0.10%程度のCが必要である。

KL33A および KL33B の化学成分および機械的性質の規格をそれぞれ表2, 3に示す。

KL33A および KL33B の化学成分の一例を表4に示す。Cはいずれも0.10%以下であり、Mn/Cはいずれも15以上であり、P, Sなどの不純物元素はできるだけ減少させている。写真1に顕微鏡組織の一例を示す。

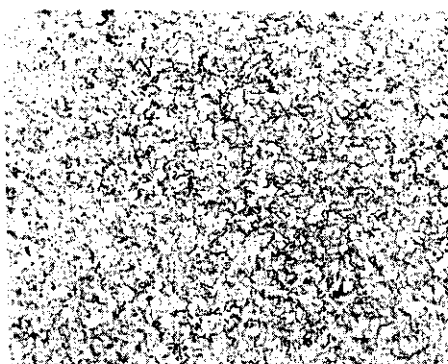
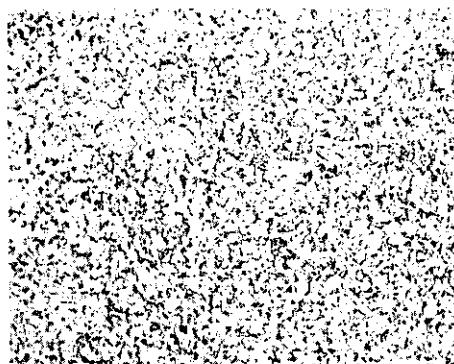
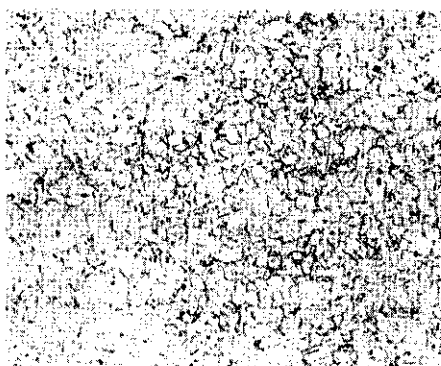
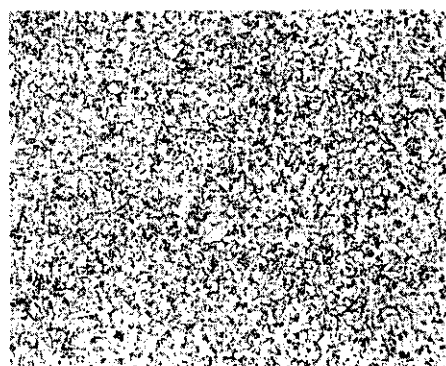
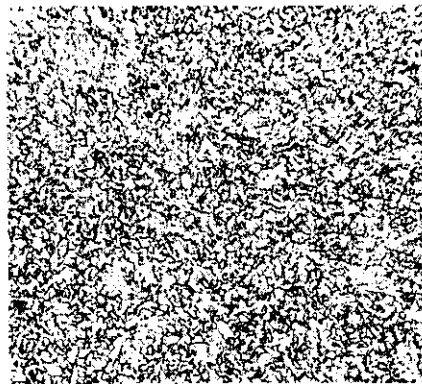
KL 33A 20mm ($\times 100$)KL 33B 20mm ($\times 100$)KL 33A 32mm ($\times 100$)KL 33B 32mm ($\times 100$)KL 33A 50mm ($\times 100$)KL 33B 50mm ($\times 100$)

写真 1 顕微鏡組織の一例

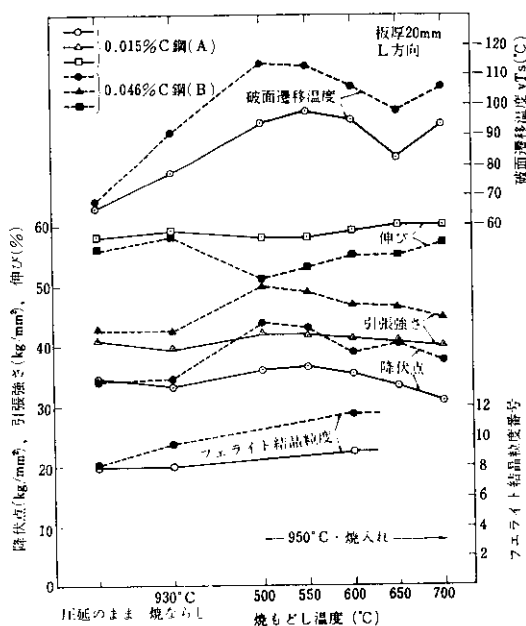


図4 同一溶鋼より製造したC%の異なるAlキルド鋼板の機械的性質

2.1 引張および曲げ特性

表5に引張および曲げ特性の一例を示す。降伏点および引張強さは規格値を十分満足するとともに、伸びおよび絞りが大きく、加工性もすぐれていることがわかる。

2.2 切欠靱性

2.2.1 衝撃試験

KL33A および KL33B の 2 mmV ノッチシャルピー衝撃試験の例を図5に示す。これらの破面選

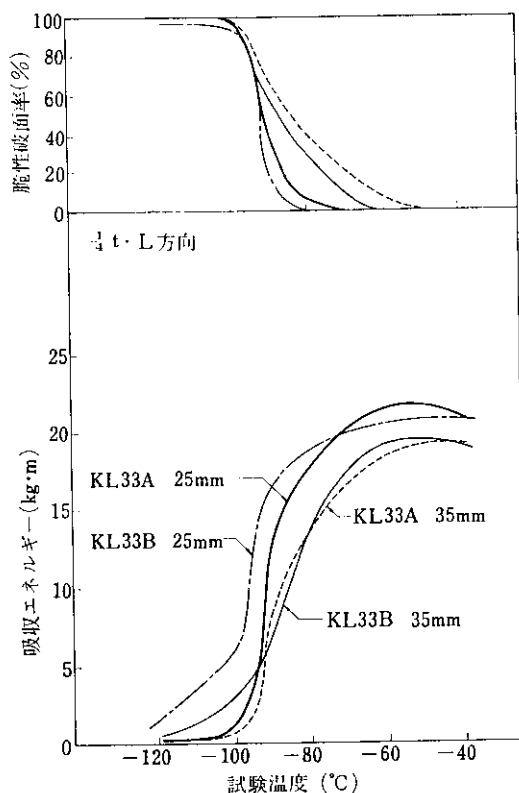


図5 KL33A, KL33B の 2 mmV ノッチシャルピー衝撃試験結果

移温度はいつでも -80°C 以下であり、すぐれた切欠靱性を有していることがわかる。

2.2.2 ひずみ時効試験

KL33A および KL33B の板厚 50 mm 材についてひずみ時効後の切欠靱性の変化を調べるため

表5 引張りおよび曲げ試験結果

鋼種	熱処理	板厚 (mm)	引張試験 (JIS 4号, L方向)				曲げ試験 R=1.0 t 180°曲げ
			降伏点 (kg/mm²)	引張強さ (kg/mm²)	伸び (%)	絞り (%)	
KL33A	焼ならし (930°C)	25	35	45	43	79	良
		35	34	44	45	78	良
KL33B	焼入れ・焼もどし (950°C→690°C)	25	38	46	41	78	良
		35	37	46	43	78	良

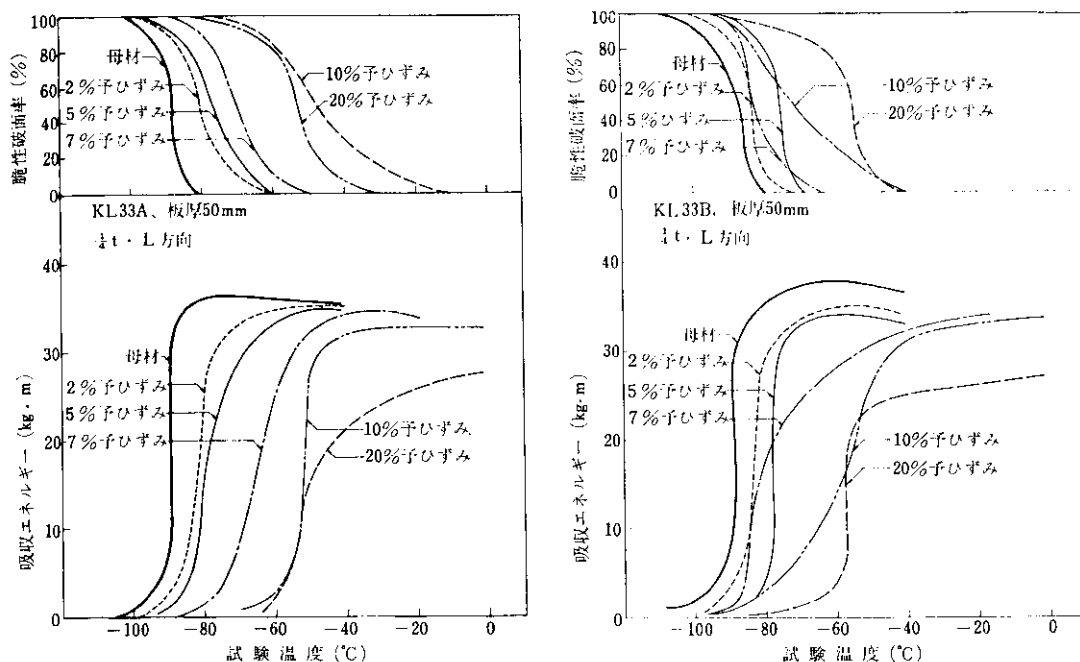


図 6 KL33A, KL33B の 250°C 1 h/25mm, ひずみ時効試験結果
(2mmV ノッチシャルピー衝撃試験)

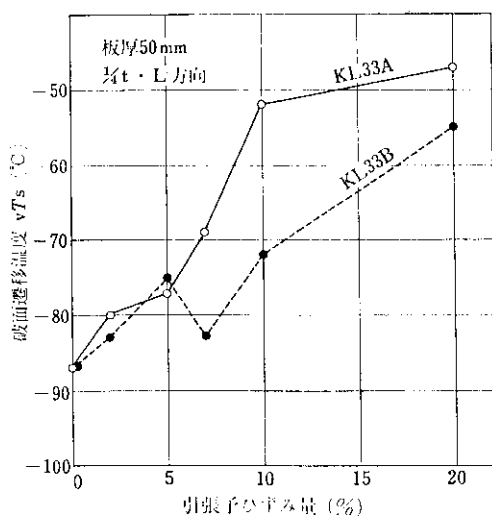


図 7 KL33A, KL33B の 250°C 1 h/25mm, ひずみ時効試験における破面遷移温度と引張りひずみ量との関係
(2mmV ノッチシャルピー衝撃試験)

に、2%から20%までの一軸引張りひずみをあたえたのち250°Cで板厚25mmにつき1hの割合で加熱時効させた後、引張軸と平行に採取した試験片を用いて行なった2mmVノッチシャルピー衝撃試験の遷移曲線を図6に、図7に破面遷移温度とひずみ量との関係を示す。

破面遷移温度は、ひずみ量が増すにつれて徐々に高くなり、飽和エネルギーは低くなるが5%以下のひずみ量では、ともに破面遷移温度は-70°C以下と低い。

2.2.3 NRL 落重試験

脆性破壊の発生特性をNRL落重試験にて調査した結果を表6に示す。試験片は25mmに減厚した図8に示すP I型試験片を用い、打撃エネルギー

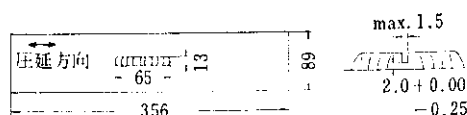


図 8 NRL 落重試験片

表 6 NRL落重試験結果

試験温度 (°C)	鋼種		KL33A			KL33B		
	板厚		20mm	32mm	50mm	20mm	32mm	50mm
-30					○ ○ ○			
-40					① ₂ ① ₃ ① ₂			① ₁ ○ ○
-45					13① ₁₀ ● ●			① ₁ ① ₂ ① ₃
-50			○ ○ ○	○ ○ ○	● ● ●	○ ○ ○	○ ○ ○	① ₂ ① ₄ ① ₂
-55					● ● ●			7① ₃ ● ●
-60			○ ① ₃ ○	① ₅ ① ₃ ① ₄		○ ○ ○	○ ○ ○	● ● ●
-65			2① ₂ ○ 6① ₀	7① ₆ 5● 9●		○ ① ₀ ○	○ ○ ○	
-70			11● 5● 5●	● ● ●		○ ① ₀ ① ₀	● 7● 9●	
-75			● ● ●			24● ● ●	● ● ●	
NDT (°C)			-70	-65	-45	-75	-70	-55

注) ○ クラックなし ① 一部クラック ② 片側破断 ● 破断

ギーは、45 kg の重錘を 2.4 m の高さから落下させて、(108 kgm) 与えた。NDT は KL33A では -45°C 以下、KL33B では -55°C 以下であり、焼ならし材よりも焼入れ・焼もどし材の方が NDT が低い。

2.2.4 ディープノッチ試験

脆性破壊発生特性を知るためにディープノッチ試験を行なった。図 9 にディープノッチ試験片の形状を示す。

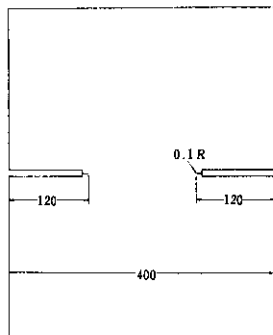


図 9 ディープノッチ試験片形状

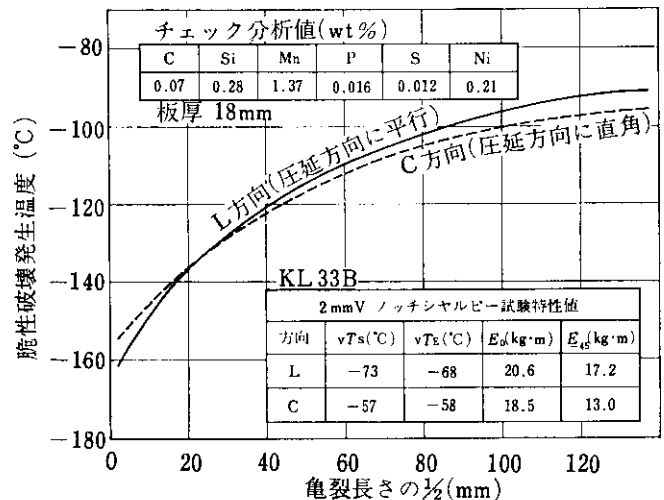


図 10 無限板の場合の亀裂長さとの関係 ($\sigma = \sigma_y/2$)

KL33B, 板厚 18 mm のディープノッチ試験結果を図10に示す。1/2 亀裂長さ $C=40$ mm とし, 安全率を 2 とした場合の脆性破壊発生温度は, L 方向 -121°C , C 方向 -122°C であり, 2mmV ノッチシャルピー衝撃試験の特性値にて示されるような方向差はなく, 良好であるといえる。

2.2.5 一様温度型 ESO 試験

脆性破壊発生特性を調べるために一様温度型 ESO 試験を行なった。図11に ESO 試験片の形状を示す。

KL 33B, 板厚 20 mm の試験結果を図 12 に示す。安全率を 2 とした場合の脆性破壊発生温度は -131°C と低い。

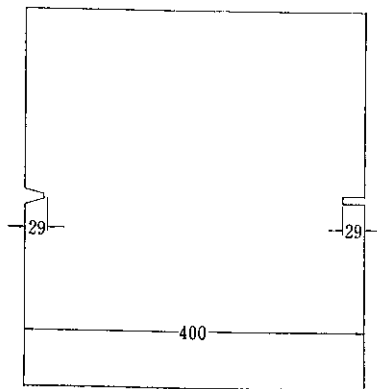


図 11 ESO 試験片形状

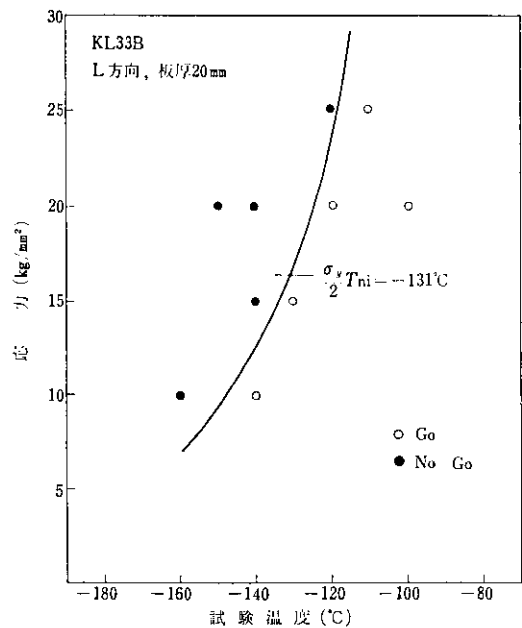


図 12 一様温度型 ESO 試験結果

2.2.6 二重引張試験および温度勾配型 ESO 試験

脆性破壊の伝播停止特性を調べるために二重引張試験および温度勾配型 ESO 試験を行なった。これらの試験結果より求めた安全率を 2 とし, 亀裂長さを $C=10$ mm と $C=100$ mm としたときの, 亀裂停止限界温度を表 7 に示す。日本溶接協会規格低温構造用鋼板材質判定基準による G 種 ($C=10$ mm) としての使用温度は厚さ 50mm で

表 7 二重引張試験および温度勾配型 ESO 試験結果 ($\sigma = \sigma_y / 2$)

鋼 種	板 厚 (mm)	試 験 方 法	亀裂停止温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
			C=10mm	C=100mm
KL33A	20	二重引張試験	-92	-60
"	32	二重引張試験	-86	-50
"	50	温度勾配型 ESO 試験	-55	-22
KL33B	20	二重引張試験	-100	-64
"	32	二重引張試験	-96	-60
"	50	温度勾配型 ESO 試験	-72	-35

も KL33A, -55°C , KL33B, -72°C と低い。

3. 溶 接 性

KL33A および KL33B は溶接熱影響部の硬化性を示す WES 式による C 当量 (Ceq) が低いので、硬化性も少なく、溶接部の延性も良好であり、溶接割れも起こりにくいと考えられるが、これらを確認するために、テーバー硬さ試験、溶接ビード曲げ試験、斜め Y 型拘束われ試験を行なった結果を以下に示す。また実際の溶接における溶接部の特性値を調べるために、被覆アーク溶接、およびサブマージドアーク溶接にて溶接継手を作製して試験した結果を示す。

3.1 テーバー硬さ試験

溶接熱影響部の硬化性を調べるために、テーバ

ー硬さ試験を行なった結果を図 13 および図 14 に示す。溶接棒は低水素系溶接棒 KS 76LT を用いた。JIS の最高硬さに相当する、 540°C における冷却速度が $28^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ に相当する硬さは、KL33A で 225 Hv, KL 33B で 220 Hv である。また、0.5 sec アークストライクの最高硬さは、いずれも 270~290 Hv であり、硬化性はいずれも低いことがわかる。

3.2 溶接ビード曲げ試験

板厚 50mm の KL33A および KL33B に、 350°C 、1 h の再乾燥を行なった KS76LT を用い、室温で溶接電流 160~180 A、溶接速度 150 mm/min で試験ビードを溶接したのち、1 週間放置し、 -50°C で曲げ試験を行なったが、曲げ角度は 120° (表面伸び率 30% 以上) であり、いずれも亀裂は発生せず、溶接部の伸び延性は良好であることが確認さ

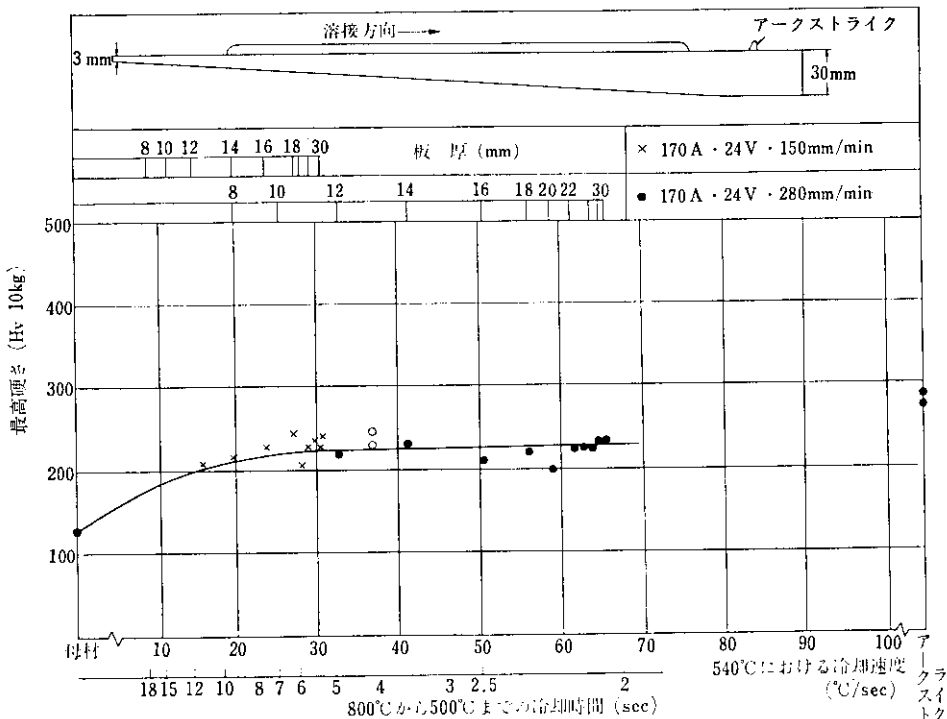


図 13 KL33A, 板厚 50 mm のテーバー硬さ試験結果

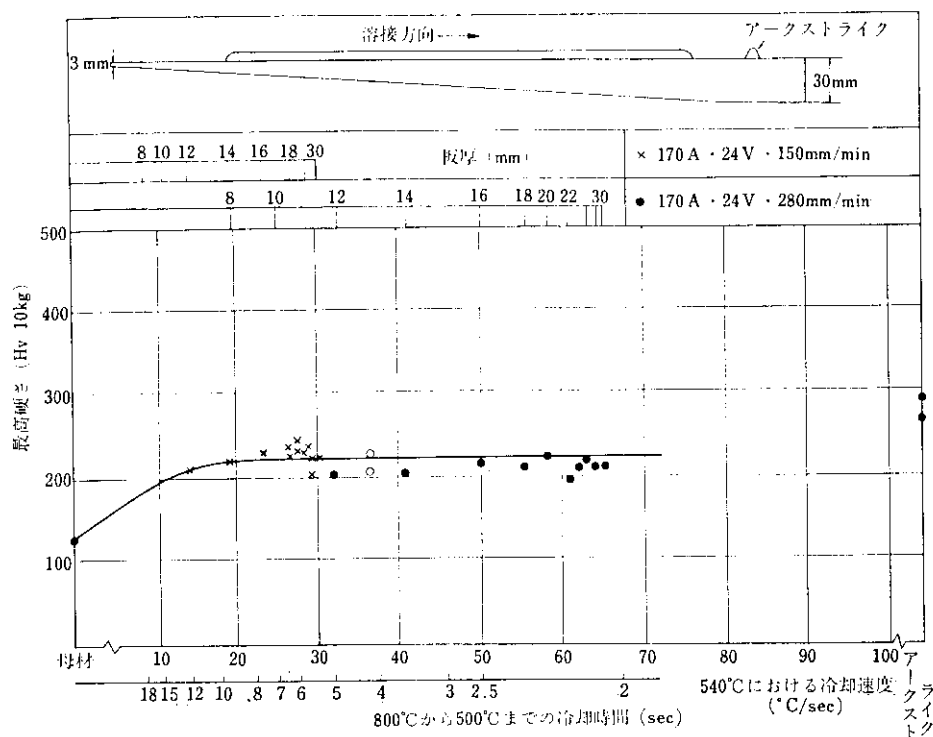


図 14 KL33B, 板厚 50 mm のテーパー硬さ試験結果

れた。なお試験片は試験ビードを溶接後、ビード面を残して片側より厚さ 25 mm に減厚して試験した。試験片および治具形状を図15に示す。

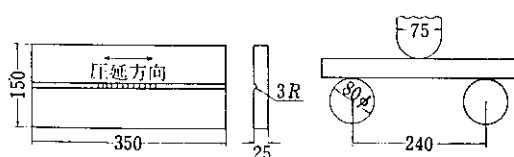


図 15 溶接ビード曲げ試験片および治具形状

3.3 斜め Y 型拘束われ試験

溶接熱影響部のわれ感受性を調べるために、斜め Y 型拘束われ試験を行なった。試験片の形状を

図 16 に示す。溶接棒は KS76LT を 350°C で 1 h

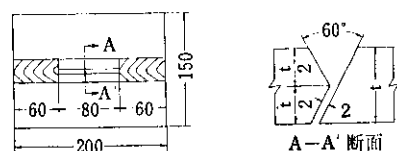


図 16 斜め Y 型拘束われ試験片形状

再乾燥して使用した。溶接条件は、溶接電流 (160 ~ 180 A), 溶接速度 150 mm/min である。図17に一例として板厚 50 mm の試験結果を、表 8 に試験結果をまとめて示すが、特に板厚 32 mm 以下ではルートわれ阻止温度は 0°C 以下であり、溶接割れは非常に起こりにくいことがわかる。

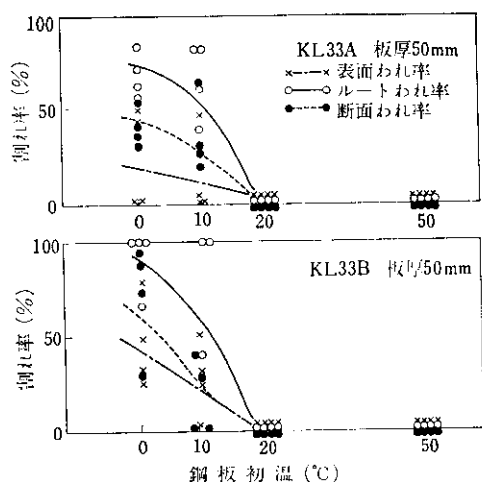


図 17 斜め Y 型拘束われ試験結果

表 8 斜め Y 型拘束われ試験結果

鋼 種	板厚 (mm)	われ阻止温度 (°C)		
		表面われ	断面われ	ルートわれ
KL33A	20	< 0	< 0	< 0
"	32	< 0	< 0	< 0
"	50	20	20	20
KL33B	20	< 0	< 0	< 0
"	32	< 0	< 0	< 0
"	50	20	20	20

3.4 溶接熱影響部の靱性

板厚 50mm の KL33A および KL33B の溶接熱影響部の靱性を調べるために、被覆アーク溶接によるレ型開先突合わせ溶接部の衝撃試験およびサブマージドアーク溶接による K 型開先突合わせ溶接部の衝撃試験を行なった。

3.4.1 被覆アーク溶接によるレ型開先衝撃試験

衝撃試験片を採取した個所の溶接には KS76LT 5mmφ を 350°C で 1h 再乾燥して使用した。溶接条件は、溶接電流 220~240 A、溶接速度 180 mm/min、入熱量 17,600~19,200 Joule/cm、層

間温度 100°C である。試験材の半数は、溶接後 625°C で板厚 25mm あたり 1h の割合で応力除去焼なましを行ない試験に供した。図 18 に開先形状および切欠位置を、図 19 に 2mmV ノッチシャルピー衝撃試験の結果を示す。

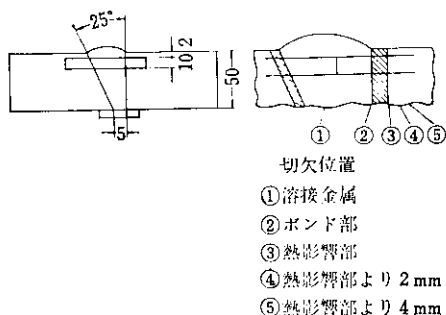
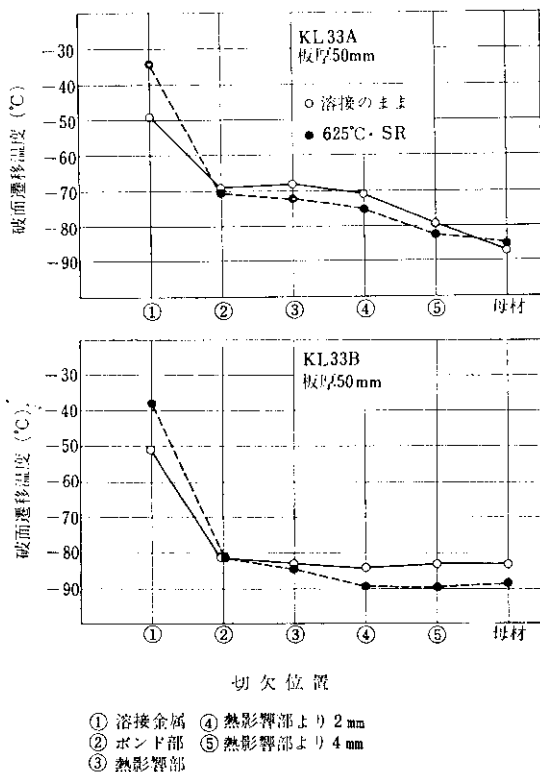


図 18 開先形状およびノッチ位置

図 19 被覆アーク溶接による溶接熱影響衝撃試験結果
(2mmV ノッチシャルピー衝撃試験)

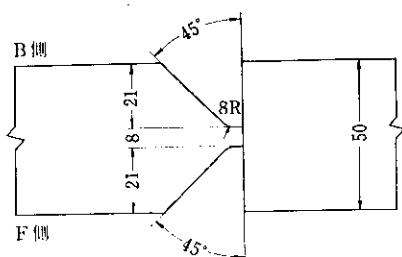
ボンド部および熱影響部の脆化は少なく、特に KL33B ではほとんどない。ボンド部および熱影

表 9 K開先形状および溶接条件

鋼 種	板 厚 (mm)	溶 接 材 料	入 熱 量 (Joule/cm)	側	層 数	層間温度 (°C)	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)
KL33B	50	KW43 (4.8mmφ) ×KB50LT	30,000	B	5	150	500	30	30
				F	7		500	30	30
			39,600	B	4	150	550	30	25
				F	5		550	30	25

注) フラックスは焼成型フラックスである。

開 先 形 状



響部の切欠靱性は、応力除去焼なましにより若干改善される。

3.4.2 サブマージドアーク溶接による

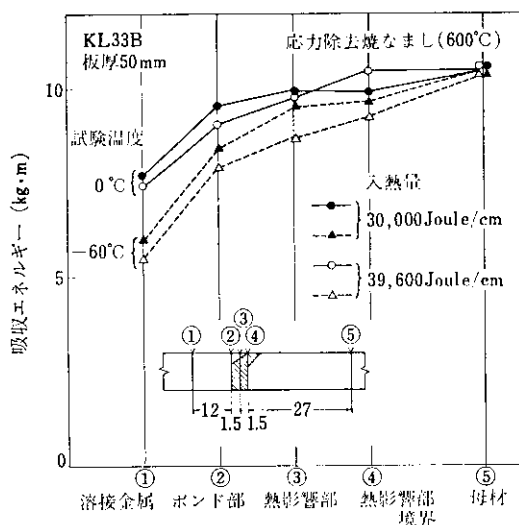
K 型開先衝撃試験

開先形状および溶接条件を表9に示す。KL33Bの600°Cで板厚25mmあたり1hの割合で応力除去焼なまし後の試験結果を図20に示す。ボンド部の脆化は入熱量40,000Joule/cmでも非常に少なく、良好な靱性を有している。

3.5 溶接継手性能試験

3.5.1 被覆アーク溶接

板厚50mmの鋼板の継手性能試験結果を表10に示す。引張試験では各試験片とも母材で破断し、溶接部の強度は母材強度以上であることがわかる。溶接金属中央部の2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果は良好であり、625°Cで板厚25mmあたり1hの割合の応力除去焼なましで、靱性は若干改善される。



切 欠 位 置

図 20 サブマージド・アーク溶接による
溶接熱影響部衝撃試験結果
(5mmU ノッチシャルピー衝撃試験)

3.5.2 水平サブマージドアーク溶接

板厚18mmのKL33Bを試作の溶接材料にて溶接した結果を表11に示す。フラックスは焼成型フラックスである。溶接継手の開先形状および切欠位置を図21に示す。引張試験片はいずれも母材にて破断し、引張強さは52kg/mm²内外の値を示し、2mmVシャルピー衝撃試験では、-70°Cでも5.0kgm以上の吸収エネルギーを示し良好である。

3.5.3 下向サブマージドアーク溶接

KL33B、板厚20mmを試作の溶接材料にて溶接した。フラックスは焼成型フラックスである。

表 10 被覆アーク溶接継手試験結果(板厚50mm)

鋼 種	試験片の 熱処理	継手引張試験		溶接金属の 2mmVノッチシャルピー試験 (F側)				型曲げ試験 R=19mm 180°
		引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	vTs (°C)	vT ₁₅ (°C)	E-20 (kg·m)	E-60 (kg·m)	
KL33A	溶接のまま	49.6	母 材	-46	-82	23.5	13.0	良
	応力除去 焼なまし *	48.4	母 材	-58	-86	25.6	15.8	良
KL33B	溶接のまま	50.5	母 材	-45	-85	24.6	9.0	良
	応力除去 焼なまし *	49.0	母 材	-55	-88	23.6	13.3	良

* 625°C, 1h/25mm

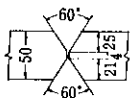
開 先 形 状	溶 接 条 件				
	溶接棒の 銘柄	棒 径 (mm)	電 流 (A)	速 度 (mm/min)	層間温度 (°C)
	KS76LT (低水素系)	4	160~180	150	100
		5	220~240	180	

表 11 水平サブマージド・アーク溶接継手試験結果

鋼 種	板 厚 (mm)	継手引張試験		2mmVノッチシャルピー衝撃試験				自由曲げ試験
		引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	E-70 (kg·m)	E-50 (kg·m)	E-30 (kg·m)	E ₀ (kg·m)	表面伸び率 (%)
KL33B	18	52.8	母 材	5.0	6.7	19.2	22.6	24
		51.7	母 材	5.0	8.7	19.4	24.0	25

溶 接 条 件					
溶 接 材 料	層	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	入 熱 量 (Joule/cm)
KW-36T ×KB-140	B側 1	420	45	27	15,100
	" 2	400	70	25	8,600
	F側 1	550	45	27	15,100
	" 2	400	70	25	8,600

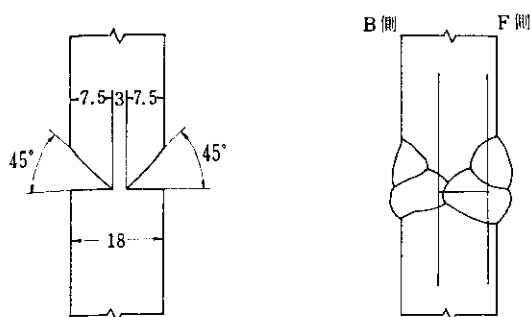


図 21 水平サブマージド・アーク溶接継手の開先形状および切欠位置

開先形状を図22に、溶接条件を表12に、継手の引張および曲げ試験結果を表13に、2mmV ノッチシャルピー衝撃試験結果を図23および図24に示す。継手の断面硬さ試験結果を図25および図26に示す。引張試験片はいずれも母材で破断してお

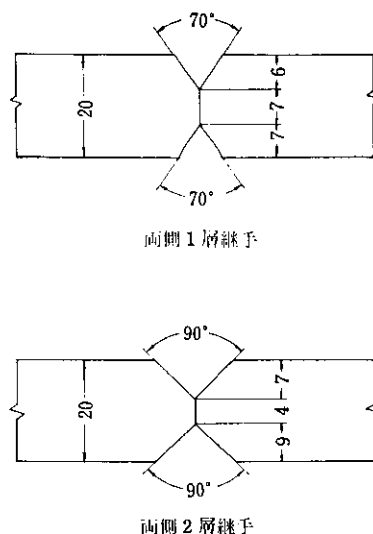


図 22 下向サブマージド・アーク溶接継手の開先形状

表 12 下向サブマージド・アーク溶接継手の溶接条件

鋼 種	板 厚 (mm)	継手の種類	側および層	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	入 熱 量 (Joule/cm)
KL33B	20	両側一層継手	B 側	880	37	60	32,500
			F 側	960	40	60	38,400
		両側二層継手	B側 1層目	700	32	60	22,400
			B側 2層目	600	36	40	32,400
			F側 1層目	800	32	60	25,600
			F側 2層目	600	36	40	32,400

ワイヤー : KW43 4.8mmφ

フラックス : KB50LT (焼成型)

表 13 下向サブマージド・アーク溶接継手の引張・曲げ試験結果

鋼 種	板 厚 (mm)	継手の種類	継手引張試験		自由曲げ試験		側曲げ試験 R=19mm 180°
			引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	表 曲 げ (%)	裏 曲 げ (%)	
KL33B	20	両側一層継手	54.7	母 材	24	25	良
			53.5	母 材	25	25	良
		両側二層継手	53.8	母 材	25	24	良
			53.6	母 材	23	24	良

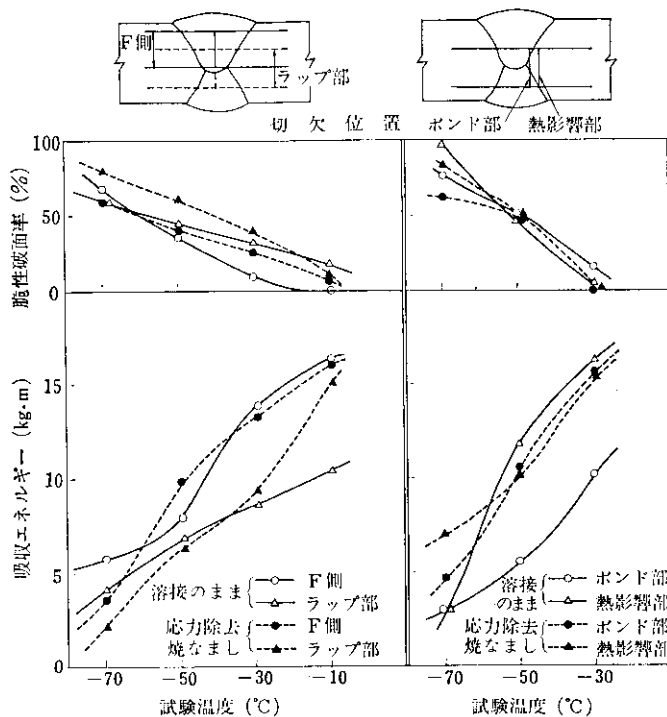


図 23 両側一層溶接継手 2 mmV ノッチシャルピー衝撃試験結果

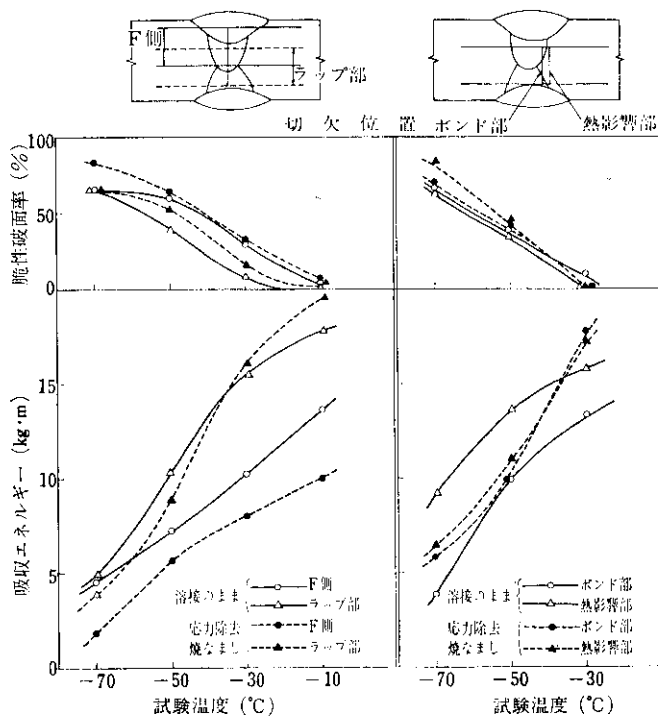


図 24 両側二層溶接継手 2 mmV ノッチシャルピー衝撃試験結果

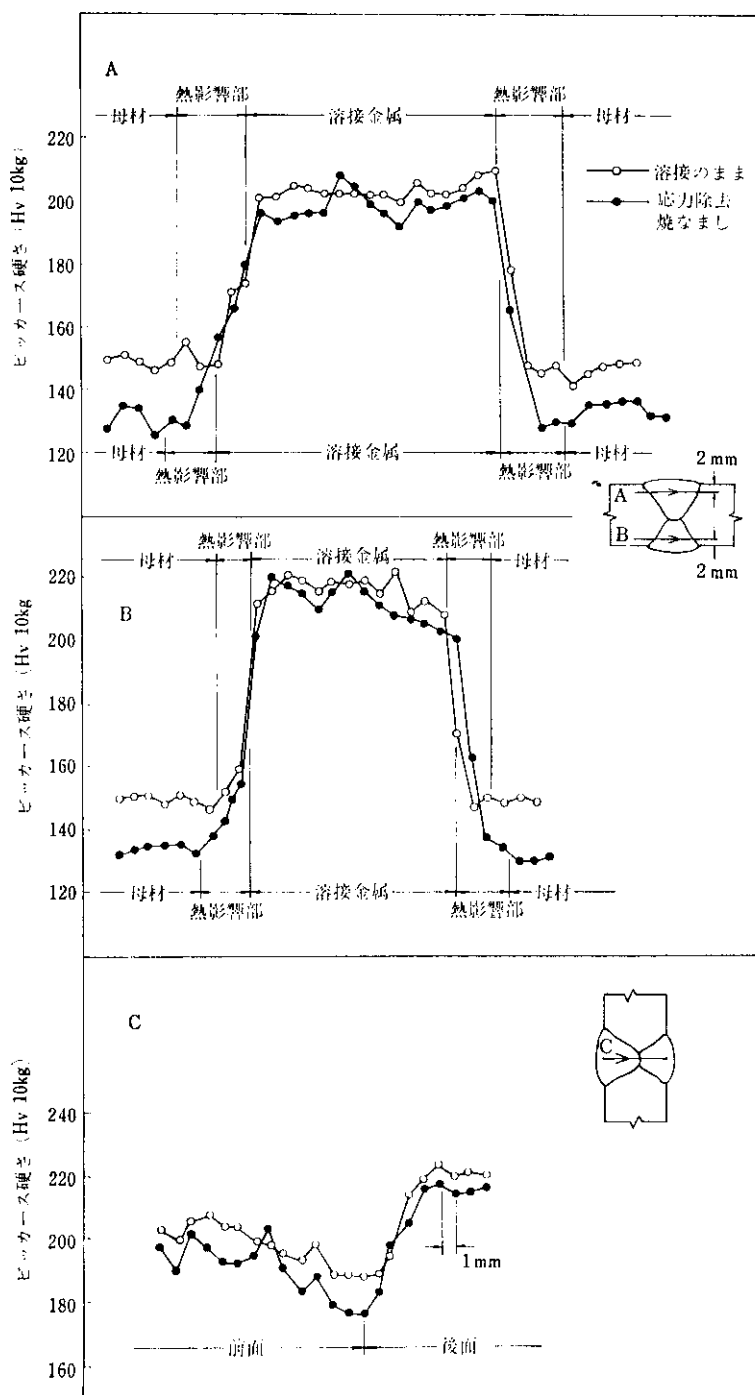


図 25 KL33B 両側一層継手硬さ試験結果 (板厚 20mm)

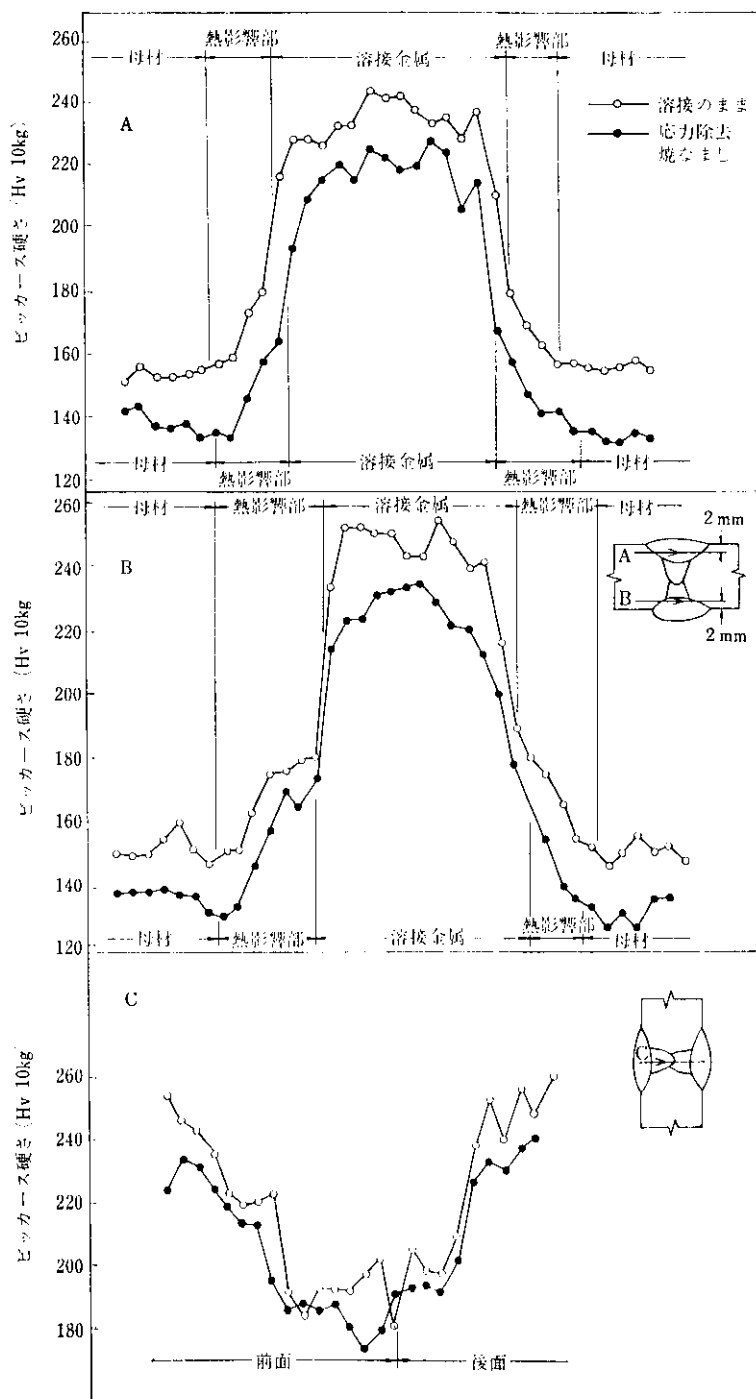


図 26 KL 33B 両側二層継手硬さ試験結果 (板厚 20mm)

り、熱影響部を含む溶接部の強度は母材の強度以上であることがわかる。溶接金属の吸収エネルギーは、溶接法によりあまり差が見られないが、応力除去焼なましにより、 -50°C 以下にて共に若干低下する傾向がある。

ボンド部の吸収エネルギーは、二層溶接の方が高く、応力除去焼なましにより改善される。

断面硬さは、二層溶接の溶接金属では、かなり高くなるが、応力除去焼なましにより軟化される。

4. 総 括

低炭素 Al キルド鋼板、KL33A および KL33B は、すぐれた低温靱性を有しており、これまで $1\frac{1}{2}\text{Ni}$ 鋼および $2\frac{1}{4}\text{Ni}$ 鋼などの低温用低 Ni 鋼が使用されていた温度あるいはそれ以下の温度範囲まで使用可能である。また同時にこれらの鋼材はすぐれた溶接性を有している。今後、橋梁、船舶などの溶接構造用鋼板に、現在よりすぐれた溶接性が要求される場合には、低炭素 Al キルド鋼は材質改良の一つの方向を示すものと考えられる。