

---

極低温用鋼 KLN9 の母材特性および溶接性

Mechanical Properties and Weldabilities of KLN9 Steel for Cryogenic Temperature Service

有村 康男 (Yasuo Arimura) 安田 達 (Tohoru Yasuda) 奥村 健人 (Taketo Okumura)

---

要旨：

KLN9 は川崎製鉄（株）で製造している 9%Ni 鋼であり，その機械的性質，切欠靱性，溶接性などについて調べた。KLN9 は C 含有量を比較的 low おさえ，しかも特殊な焼入れおよび焼もどし熱処理を行なっているので，低温での衝撃特性は良好である。また KLN9 はすぐれた溶接性を有しており，溶接熱影響部の最高硬さは Hv383 以下で，しかも予熱せずに室温で溶接しても割れは発生しない。さらに極厚（73mm）の 9%Ni 鋼を製造し，その機械的性質が極厚材においても十分な性能を有することを証明している。

---

Synopsis：

Mechanical properties, notch toughness and weldability of KLN9, a 9% Ni-steel manufactured by Kawasaki Steel have been investigated. Because of relatively low C content and of special quenching and tempering treatments given, KLN9 has good toughness at low temperature. Its another feature is good weldability, and maximum hardness reaches Hv 383 and under at heat-affected zone, with no occurrence of crack even under welding at room temperatures without preheating. These mechanical properties have been proved to be fully active even in the 73mm thick 9% Ni-steel manufactured by the company.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

# 極低温用鋼 **KLN 9** の母材特性および溶接性

## Mechanical Properties and Weldabilities of **KLN 9** Steel for Cryogenic Temperature Service

有村 康 男\*  
Yasuo Arimura

安 田 達\*\*  
Tohoru Yasuda

奥 村 健 人\*\*\*  
Taketo Okamura

### Synopsis :

Mechanical properties, notch toughness and weldability of **KLN 9**, a 9% Ni-steel manufactured by Kawasaki Steel have been investigated. Because of relatively low C content and of special quenching and tempering treatments given, **KLN 9** has good toughness at low temperature. Its another feature is good weldability, and maximum hardness reaches Hv 383 and under at heat-affected zone, with no occurrence of crack even under welding at room temperatures without preheating. These mechanical properties have been proved to be fully active even in the 73 mm thick 9% Ni-steel manufactured by the company.

## 1. 緒 言

ガスを液化して貯蔵したり運搬することは、経済性、取り扱いの容易さの点から非常に有利であるが、前世紀末の空気の液化に始まる各種ガスの液化、石油化学工業の発達は極低温材に対する需要をますます増大させてきた。従来液化メタン（沸点 $-160^{\circ}\text{C}$ ）液体酸素（沸点 $-183^{\circ}\text{C}$ ）のタンクには、Al およびオーステナイト系ステンレス鋼、5% Mg-Al 合金などが用いられていたが、いずれも溶接性、経済性の面で難点があり、新しい材料の開発が望まれていた。

このような情勢の中で、1945年、米国の INCO 社によって $-196^{\circ}\text{C}$ までの温度で使えるものとして9% Ni 鋼が開発された。これは合金量が少ないので価格はオーステナイト系ステンレス鋼の約8割で済み、機械的強度にすぐれ、溶接も容易に出

来るなどの利点がある。

当社が開発した **KLN 9** は、上記9% Ni 鋼の利点を最大限に発揮するため、成分系、熱処理方法などに検討を加えて製造したものであり、すでに液体酸素の貯蔵タンク（貯蔵量400 t）として実用に供されている。

本報告は、当社製9% Ni 鋼 **KLN 9** の機械的性質と溶接性について述べたものである。なお73 mm 厚の製造に関連した母材データを付け加えた。

## 2. 製造にあたって留意した点

9% Ni 鋼の低温靱性を左右する要因としては、化学成分と熱処理方法、およびその双方によって決定される冶金学的組織が考えられるが、化学成分としては

(1) C 含有量

\* 千葉製鉄所管理部部長

\*\*\* 千葉製鉄所管理部厚板管理課

\*\* 千葉製鉄所管理部厚板管理課課長

(2) P, S含有量

(3) 結晶粒微細化のためのAl処理

の及ぼす影響が大きい。

熱処理としては現在、以下に示す2種類の熱処理が、一般には行なわれている。

(A) 900°Cおよび780°Cからの2回焼ならし後565~610°Cで焼もどし(空冷)…以下NNT

(B) 780~810°Cから焼入れ(水冷, 油冷)後565~605°Cにて焼もどし(空冷)…以下QT

NNTとQTでは当然のことながら $A_{c_3}$ 変態点からの冷却速度が異なるために、焼もどし後の機械的性質の差が顕著である。また衝撃特性に与える焼もどし温度の影響の現れ方は、NNT, QTいずれの場合も565~610°Cの範囲で吸収エネルギーの極大を示す点が存在し、通常の低合金抗張力鋼の示す傾向と異っている。

冶金学的組織の因子としては

(1) 焼ならしおよび焼入組織

(2) 残留オーステナイト量

の及ぼす影響が顕著である。

上記要因について具体的に述べるとC含有量は0.10%を超えないことが望ましく、特にQT材のような冷却速度の早いものでは、低いほど好結果を得ている。これは従来いわれているカーバイドを減少させることにより切欠靱性を改善させ得るとい見解に合致しているが、**図1**に示すようにNT材においては逆にC含有量が高い方が $E_{-196}$ (-196°Cでの吸収エネルギー)は良くなっている。これは焼ならし後の組織が、低C領域ではフェライト組織を呈しており、C含有量が高くなるに従いパーナイト、さらにはマルテンサイト量が増し、それに伴う結晶粒の微細化などが影響しているものと思われる。したがってQT材のC含有量の決定に当っては、上記パーナイト、さらにはマルテンサイトが生成される範囲内でできる限り低くすることを念頭においた。

上記焼ならし、または焼入を行なったものを焼もどし処理することにより、硬度および衝撃値が著しく変化する。600°C以下の温度範囲では、カーバイドの析出凝集、球状化が促進されるなどの変化がみられ、この度合によって衝撃値が左右される。また焼もどし過程において析出する残留オ

ーステナイト量によっても衝撃値が変化し、現在でもさまざまな議論を呼んでいるところである。残留オーステナイトの多少は、鋼板の冷却速度や熱履歴に大きく左右され、一方結晶粒の微細化も熱処理方法が影響するため、残留オーステナイト量の衝撃値に与える影響を純粋に導きだすことは困難であるが、オーステナイト相は、Cの固溶限がフェライトよりも大きく、またP, Sなどの不純物元素に対するsinkとして作用するために、フェライト地の靱性を増大させるということから、残留オーステナイトの役割は見過し得ない。

P, S含有量は、できる限り低いことが望ましく、また結晶粒微細化のためのAl処理を行なったものでなくてはならない。

以上の観点から製造した当社の9%Ni鋼板の製造工程の概略を以下に述べる。

1) 電気炉により溶製出鋼を行なった。成分調整は充分な管理のもとに行ない、また不純物元素を低く抑え、さらに内部清浄度を害するガス成分を低くするために、製錬、脱ガス、造塊作業を入念に行なった。

2) スラブ製造に当っては、均熱途中および圧延後の冷却過程において発生する割れを防止するために、温度管理は充分に行なった。またスラブの表面疵はグラインダーにより除去し、ホットス

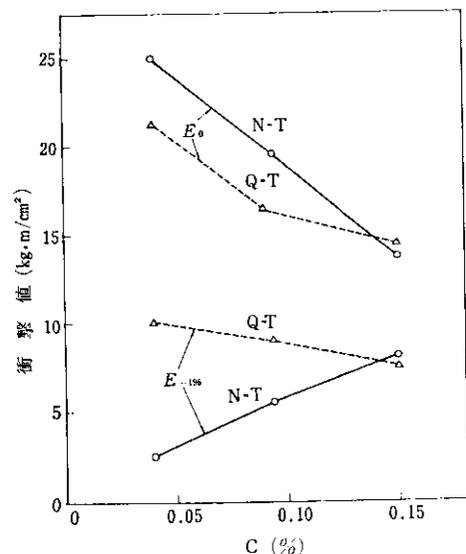


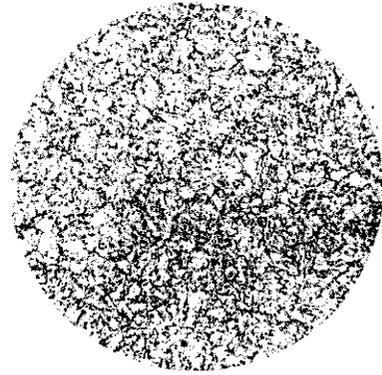
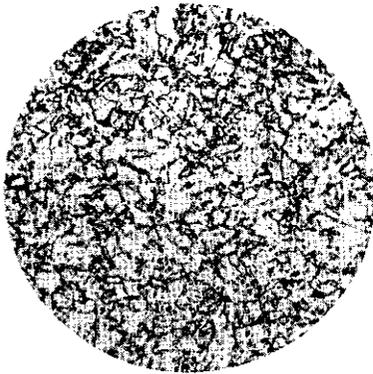
図1  $E_0$ ,  $E_{-196}$ とC量の関係

カーフイングは避けた。

3) 熱処理は前述したとおり、低温特性を左右する最大の因子であることから最適温度を決定する種々の予備試験を経て、十分な温度管理のもとに行なった。

### 3. 母材特性

表1に当社の9% Ni鋼, KLN 9の規格, 表2に板厚 25 mm の化学成分の一例を示す。写真1に顕微鏡組織の一例を示す。以下NNTタイプの熱処理を行なったものと、当社で開発したKLN 9 (QTタイプ特殊熱処理)を比較しながら、品質の紹介を行ないたい。



ASME 1308-5 (NNTタイプ)

KLN 9 (QTタイプ特殊熱処理)

写真1 顕微鏡組織(板厚25mm)の一例(×400)

表1 9Ni鋼の川鉄規格およびASME 1308-5規格

鋼種	熱処理	化学成分(%)							引張試験				曲げ試験	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び % 試験片	曲げ 角度	曲げ半径	
KLN 9	QTタイプ 特殊熱処理	≤0.13	0.15 ~ 0.30	≤0.90	≤0.025	≤0.030	8.50 ~ 9.50	—	≥60	70~84	≥25	JIS 5号 (12<t≤20) JIS 4号 (20<t≤26)	180°	t≤20 1.0t
											≥23			t>20 1.5t
KAME 1308-5	NNTタイプ	≤0.13	0.15 ~ 0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	8.50 ~ 9.50	—	≥52.7	70.3~84.4	≥22		180°	t≤31.75 2.5t t≤50.8 3t

表2 板厚25mmにおける化学成分の一例

鋼種	熱処理	板厚 (mm)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Al
KLN 9	QTタイプ	25	取鍋	0.05	0.30	0.49	0.007	0.006	9.16	0.06
	特殊熱処理		照合	0.05	0.31	0.48	0.006	0.004	9.04	0.038
ASME 1308-5	NNTタイプ	25	取鍋	0.04	0.21	0.55	0.006	0.008	9.03	0.06
			照合	0.04	0.23	0.56	0.007	0.007	9.16	0.042

表 3 母材の引張りおよび曲げ特性

鋼 種	熱 処 理	板 厚 (mm)	引 張 試 験 (JIS 4号)				曲げ試験 180°曲げ
			降 伏 点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	絞 り (%)	
KLN 9	QTタイプ特殊熱処理	25	75.4	77.5	32	78	良
ASME 1308-5	NNTタイプ	25	58.3	72.3	30	81	良

3.1 引張および曲げ特性

表 3 に引張および曲げ特性を示す。降伏点、引張強さ、伸び、絞りなどの引張特性はすべて良好な値である。KLN9とNNTタイプの熱処理方法の差が降伏点、引張強さに現れており、QTタイプの方がNNTタイプのものより、降伏点、引張強さが高い。このことはA<sub>C3</sub>変態点からの冷却速度はQT処理の方が早くマルテンサイト化の割合がNNT処理よりも大きいことに帰因している。

3.2 切欠靱性

3.2.1 衝撃試験

図 2 にKLN9およびASME 1308-5(NNTタイプ)の2mm Vノッチシャルピー試験遷移曲線を示す。両者とも良好な値であるが、熱処理方法の差が吸収エネルギー、脆性破面率とも顕著に現れている。KLN9においては試験温度 -196°Cでも脆性破面が現れておらず、吸収エネルギーも25kg・m以上を示している。図 3 にKLN9お

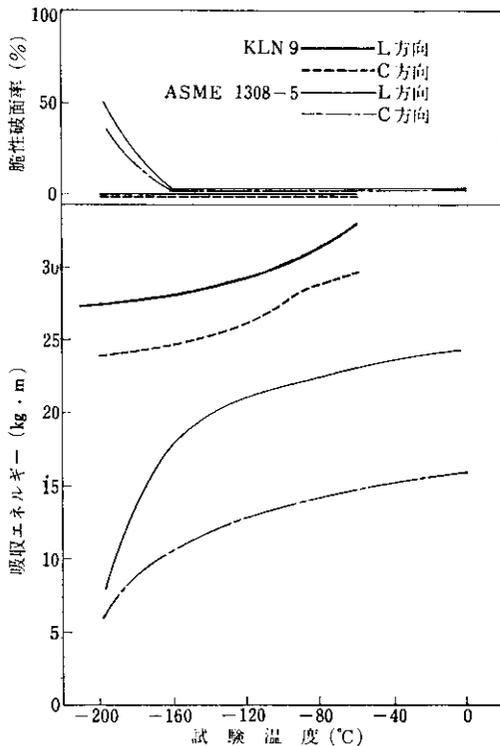


図 2 KLN9 (QTタイプ特殊熱処理), ASME 1308-5 (NNTタイプ) の 2mm Vノッチシャルピー試験結果 (板厚 25mm)

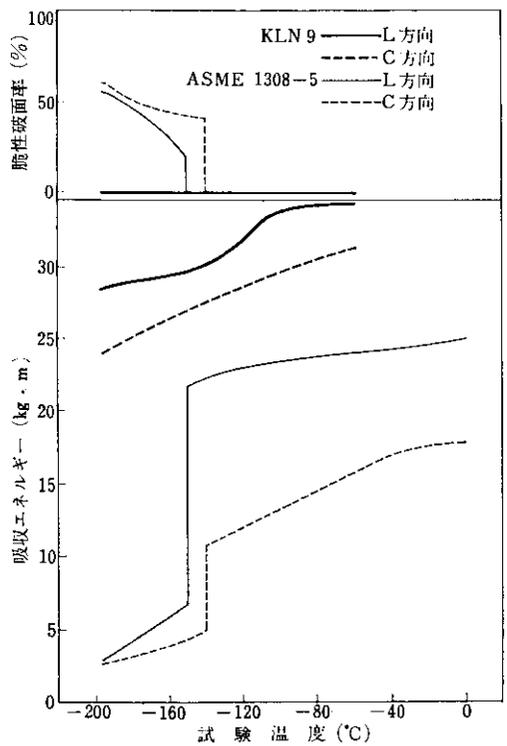


図 3 KLN9 (QTタイプ特殊熱処理) および ASME 1308-5 (NNTタイプ) におけるプレスノッチシャルピー試験結果 (板厚 25mm)

よびASME 1308-5(NNTタイプ)のプレスノッチシャルピーの結果を示す。KLN 9 の  $P_{Tc}$  は $-196^{\circ}\text{C}$ 以下と良好な結果であった。

### 3.2.2 ひずみ時効試験(常温予ひずみおよび低温予ひずみ)

図4は、KLN 9 に常温と低温( $-196^{\circ}\text{C}$ )にて4%の一軸引張予ひずみを与えたものと、 $100^{\circ}\text{C} \times 60\text{min}$ の時効を行なったものの2mm Vノッチシャルピー遷移曲線を示す。吸収エネルギーは予ひずみのない素材のままのものに比べてやや低下しているが、 $-196^{\circ}\text{C}$ においても脆性破面は現れていない。

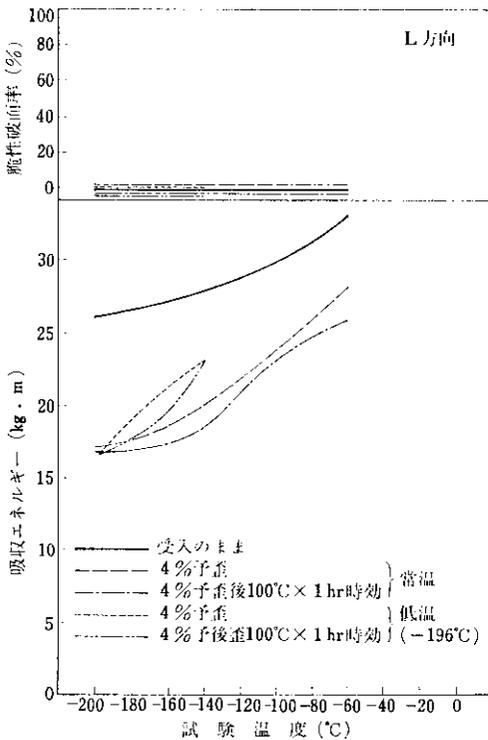


図4 KLN 9 歪時効 2mm Vノッチシャルピー試験および低温歪 2mm Vノッチシャルピー試験結果(板厚 25mm)

### 3.2.3 VAN DER VEEN 試験

鋼材の低温における切欠靱性を試験する方法として、JIS Z 3173に「溶接材料切欠曲げ試験方法」の項がありVAN DER VEEN 試験ともよばれている。それは図5に示すような試験片にプ

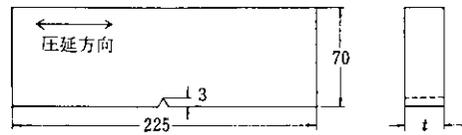


図5 VAN DER VEEN 試験片形状

レス切欠をあたえ、各種試験温度にて静的曲げ試験を行なって、その破面を観察するものである。プレス切欠深さは3mmと8mmの2種があり、通常3mmの場合は切欠底部から延性破壊したのち脆性破壊し、8mmの場合は一定温度以下になるといきなり脆性破壊することが多いといわれている。今回の試験では、図6に示したKLN 9の $-196^{\circ}\text{C}$ の破断面の例のように、数mmの延性破面から脆性破面に遷移し、それがいったん停止した後、延性破断をしていた。したがって通常たて軸は延性破面長さであらわすが、図6では切欠底部から脆性破面の先端までの長さをプロットして、切欠靱性を示した。KLN 9の方がNNTタイプのASME1308-5よりも優れた切欠靱性を有しており、熱処理方法による優劣の相対関係は2mm Vノッチシャルピー衝撃値と良く対応している。

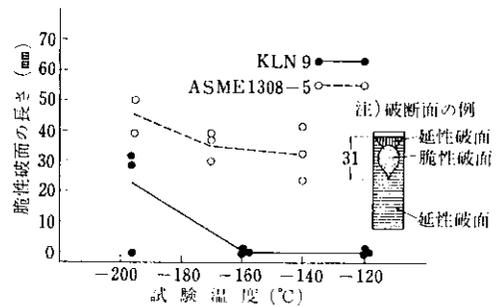


図6 KLN 9(QTタイプ特殊熱処理), ASME 1308-5(NNTタイプ)のVAN DER VEEN 試験結果(板厚 25mm)と破断面観察の例

なお、破面の現れ方が一般にいわれているように切欠底部から延性破壊した後脆性破壊せずに、脆性破壊から延性破壊に遷移しているということは、プレス圧入により切欠先端が歪時効劣化しやすいという9%Ni鋼の性質を示しているものか否か、今後の課題といえる。

表 4 KLN9, ASME 1308-5 落重試験結果

鋼種	板厚	試験温度	試験条件	試験結果
KLN9 (QTタイプ特殊熱処理)	25mm	-196°C	落下高さ 3.0m	○ ○ ○
			〃 3.6m	○ ○ ○
ASME 1308-5 (NNTタイプ)	〃	〃	〃 3.0m	○ ○ ○
			〃 3.6m	○ ○ ○

注) ○は亀裂の伝播なし

### 3.2.4 NRL 落重試験

供試鋼の亀裂伝播停止特性を調査するために、NRL落重試験を行なった。表4に示したように、試験温度-196°Cにおいて、鋼材規格に準じた落下高さで行なったが亀裂は伝播せず、さらに落下高さを増しても同様に亀裂は伝播しなかった。この結果供試鋼の亀裂伝播停止特性はすぐれているといえる。

### 3.2.5 ディープノッチ試験

脆性破壊の発生特性を調査する目的で、ディープノッチ試験を行なった。試験片形状を図7に、その結果を図8に示す。1/2亀裂長さ40mmとし、

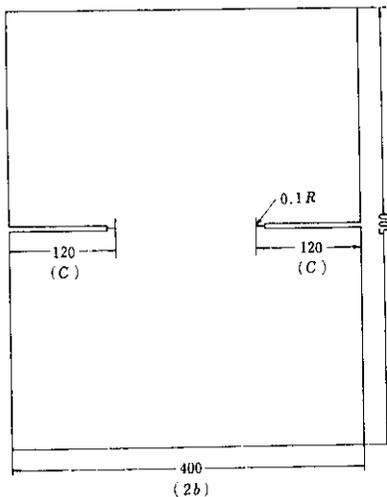


図 7 ディープノッチ試験片形状

安全率を2.5としたときの脆性破壊発生温度は-233°Cであり、低温特性が非常にすぐれていることを示している。

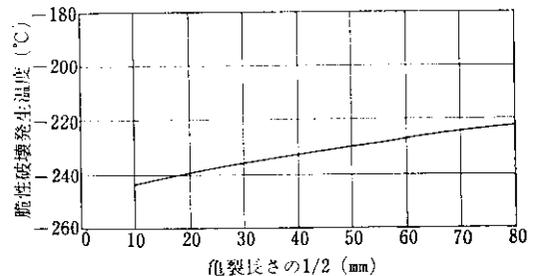


図 8 KLN9無限板における脆性破壊発生温度と亀裂長さの関係 ( $\sigma = \sigma_y/2.5$  板厚 25 mm)

## 4. 溶接性

9% Ni鋼は、極低温材でありながら溶接性が良好である点が特筆に値するが、従来より問題になっている点は、溶接金属に発生する熱間亀裂や、溶接金属の強度不足を回避しつつ、いかにしてNi含有量の少い溶接棒を可能にするかということであった。当社では35% Ni-15% Crタイプの9% Ni用被覆アーク溶接棒SKN-9を開発し、実用に供している。以下、母材の溶接性に関する報告は、いずれもKSN-9(4mmφ)を用いて試験を行なったものである。

### 4.1 テーパー硬さ試験

鋼材の溶接割れ(低温割れ)感受性を判定するために、溶接熱影響部の最高硬さと冷却速度の関係をテーパー試験片を用いて求め、その結果を

図9に示した。ポンドにおいて800°Cから500°Cまでの冷却速度が6secに相当する最高硬さは、ピッカース硬度計(荷重10kg)で383を示した。母材の平均硬さ250に比較して硬化しているが、WES規格「溶接構造用高降伏点鋼板規格」によると、引張強さ70kg/mm<sup>2</sup>級高張力鋼においてはHv437以下では溶接部に低温割れは生じないとされ、本鋼材は割れ発生の危険はないと判断される。

4.2 溶接割れ試験

4.2.1 y開先拘束割れ試験

溶接熱影響部の割れ感受性を調べるために、y開先拘束割れ試験を行ない、ルート割れ阻止温度を求めた。試験片形状を図10に、試験結果を図11に示す。予熱温度にかかわらずクレータ割れはみられたが、クレータ割れ以外の割れは常温でも発生せず、割れ感受性はきわめて低い鋼材であることを示した。

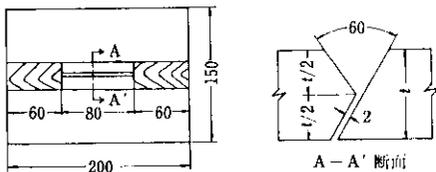
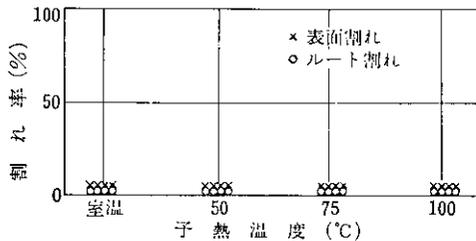


図10 y開先拘束割れ試験片形状



溶接条件  
 溶接電圧 24V  
 溶接電流 130A  
 溶接速度 150mm/min

図11 y開先拘束割れ試験結果(板厚25mm)

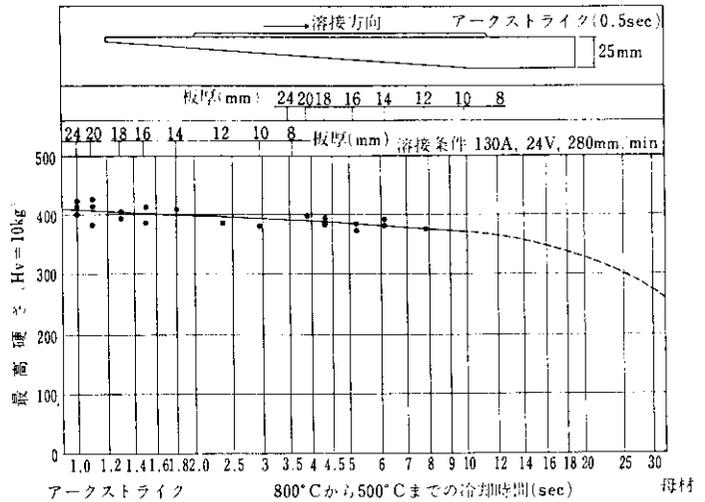


図9 KLN9 テーパー硬さ試験結果(使用溶接棒 KSN-9)

4.2.2 フィスコ熱間割れ試験

図12に示した試験片を拘束突合せ溶接割れ試験機にとりつけ、溶接部の高温割れ試験を行なった。試験結果は表5に示すように、割れ率は27.6%と良好であったが、山崎ら<sup>1)</sup>によると、熱間割れの防止のためには、第1層目は高溶接入熱により後退法で溶接を行ない、割れが発生するクレータ部は前のビードに重ねる方法が、効果的であると報告されている。

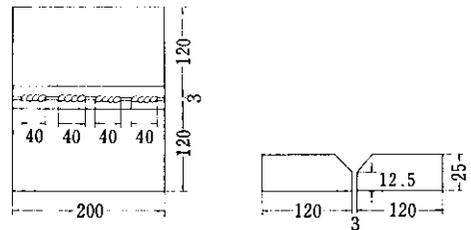


図12 フィスコ熱間割れ試験片

4.3 手溶接継手性能試験

KSN-9を用いた被覆アーク手溶接継手の引張、曲げ、および硬度試験を行なった。開先形状を図13、引張、曲げ試験結果を表6、硬さ試験結果を図14に示す。予熱層間温度は100°C以下に抑え、応力除去焼鈍条件は570°C×2hとした。引

表 5 フィスコ熱間割れ試験結果 (使用溶接棒 KSN-9)

アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 mm/min	溶接入熱 Joule/cm	繰返し	割れ率*	
					%	平均
23~25	130±10	150±10	12,500	1	24.1	27.6
				2	32.4	
				3	26.2	

\* すべて高温割れ

表 6 KLN9 手溶接継手引張、曲げ試験結果

熱処理	引張試験								曲げ試験	
	短ゲージ				長ゲージ				側 (R=2t)	ローラー (R=4t)
	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	破断位置	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	破断位置		
AS WELD	—	74.3	14	溶接金属	—	76.1	20	溶接金属	良(曲げ角度180°)	良
	—	74.8	14	"	—	77.4	18	"	割れ(2mm) (曲げ角度180°)	良
S. R.	—	74.3	18	"	—	75.1	23	"	良(曲げ角度180°)	良
	—	76.7	16	"	—	74.0	20	"	良(曲げ角度180°)	良

溶接条件 溶接電圧 24V  
 溶接電流 125A  
 溶接速度 150mm/min

注) 伸びは GL=2 inにおける値

張強さは、溶接のまま、応力除去焼鈍施行後とも母材の引張強さの規格 70.3~84.4 kg/mm<sup>2</sup> を満足し、良好な結果であった。

硬さ試験結果は、溶接のままの熱影響部が硬化しており、最高で Hv 375 を示しているが、応力除去焼鈍を行なうと低下して最高 Hv 270 となり良好な結果であった。

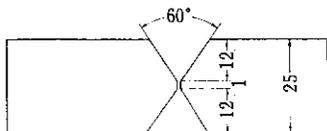
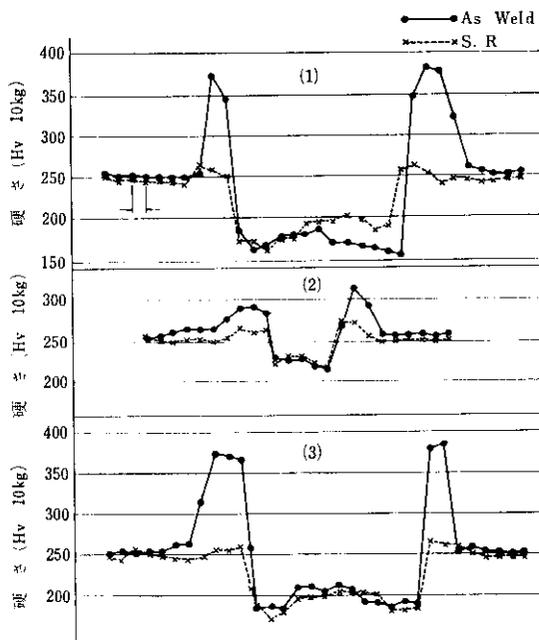


図 13 溶接継手試験開先形状



溶接電圧 24V  
 溶接電流 125A  
 溶接速度 150mm/min

測定位置  
 (1) 2mm  
 (2) 25mm  
 (3) 12mm

図 14 KLN9 手溶接継手硬さ試験結果 (使用溶接棒 KSN-9)

4.4 手溶接継手衝撃試験

溶接熱影響部の靱性を調べるために、KSN-9によるV型開先突合せ溶接部の衝撃試験を行なった。図15に開先形状およびノッチ位置を示し、図16図17に溶接のままと応力除去焼鈍後の各ノッチ位置における2mm Vシャルピー試験の遷移曲線を示した。応力除去焼鈍条件は570°C×2hrとした。

溶接のままでは極低温(-196°C)における吸収エネルギーは、熱影響部境界、ボンド、溶接金属、熱影響部より2mm、熱影響部より4mmの順で低いが、いずれも母材のVシャルピーの規格3.46kg-m以上を満足しており、脆性破面も現れていない。応力除去焼鈍後においては、熱影響部

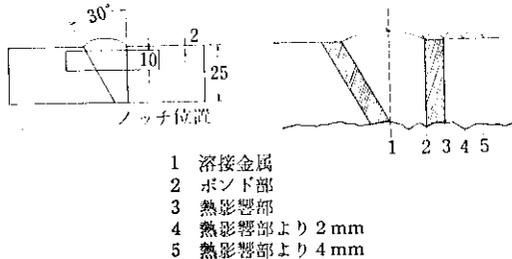


図15 手溶接継手衝撃試験開先形状およびノッチ位置

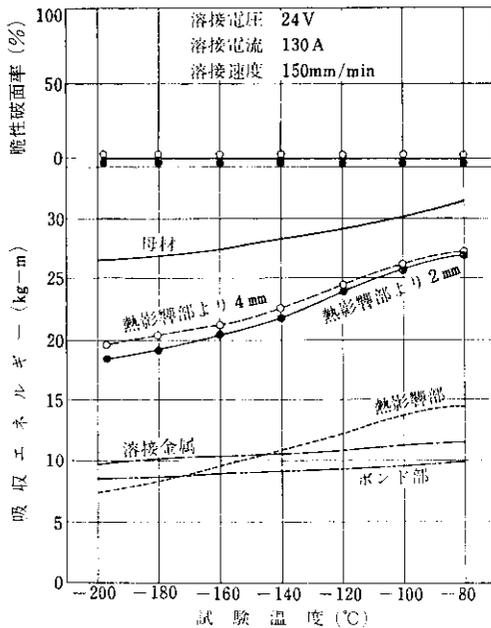


図16 KLN 9手溶接継手における、溶接金属、ボンド部、熱影響部、母材原質部の溶接状態における衝撃試験結果(板厚 25mm)

の劣化がみられ、脆性破面も多少現れているが、吸収エネルギーは溶接のまま同様、母材規格を満足している。(図18)

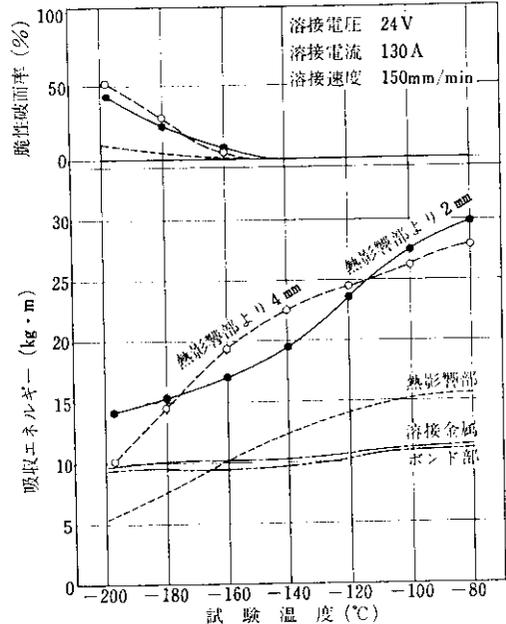


図17 KLN 9手溶接継手における溶接金属、ボンド部、熱影響部、母材原質部の応力除去焼鈍後における衝撃試験結果(板厚 25mm)

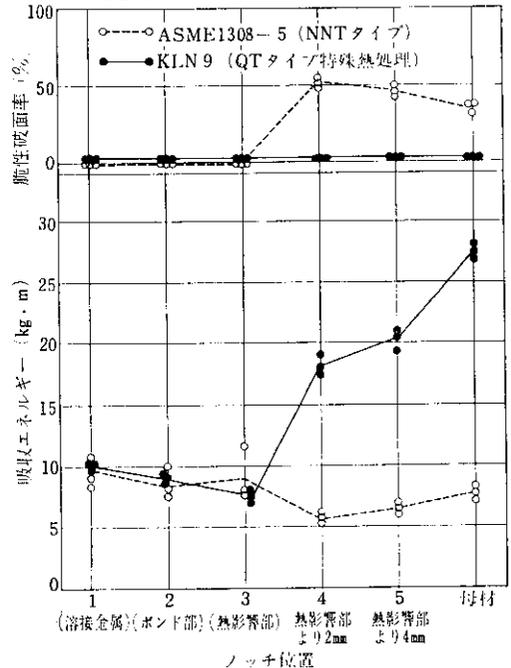


図18 試験温度-196°CにおけるKLN 9 (QTタイプ特殊熱処理)およびASME 1308-5 (NNTタイプ)の手溶接継手衝撃試験結果(板厚 25mm L方向(ただし溶接のままのみ))

表 7 板厚73mm 9% Ni鋼化学成分 (wt %)

板厚 (mm)	分析サンプル	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al
73	取 鋼	0.06	0.20	0.45	0.006	0.008	8.92	0.030
	照 合	0.06	0.21	0.49	0.007	0.008	9.16	0.034

5. 73 mm 厚の 9% Ni 鋼について

液体酸素用球形タンクのノズルネック材として極厚 9% Ni 鋼を製造し、主として熱処理方法に関する試験を行なったので報告する。

表 7 が化学成分であるが、高 Ni 鋼の質量効果は比較的少ないことを考慮し、成分は他の板厚とほぼ同等とした。

5.1 熱処理方法と引張特性の関係

板厚 73mm の 9% Ni 鋼の熱処理条件と引張特性の関係を調べる目的で熱処理方法として、2回焼ならし—焼もどしと、焼入れ—焼もどしを行なった鋼板について、焼もどし温度 2 水準を選び引張試験を行なった。試験結果を表 8 に示す。その結果以下の点が明かになった。

表 8 板厚 73 mm 9% Ni 鋼の熱処理試験、引張特性 (比較材 25 mm)

板厚 (mm)	熱処理	焼もどし温度(°C)	厚み位置	伸び (%)	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )
73	2回焼ならし焼もどし	575	1/4t			
			1/2t			
	600	1/4t				
		1/2t				
	焼入れ焼もどし	575	1/4t			
			1/2t			
600	1/4t					
	1/2t					
25	2回焼ならし焼もどし	580	1/4t			
	焼入れ焼もどし特殊熱処理		1/4t			

- (1) NNT材の熱処理に関しては、板厚の変化によって引張特性にはほとんど差がみられない。
- (2) 引張強さは、NNT材とQT材で差はみられない。
- (3) QT材は降伏点がNNT材よりも高く、板

厚、焼もどし温度、試片厚み方向採取位置の影響を受けている。

5.2 熱処理方法と衝撃特性の関係

板厚 73mm の 9% Ni 鋼の熱処理条件と衝撃特性の関係を調べる目的で、熱処理方法として 2 回焼ならし—焼もどしと焼入れ焼もどしを行なった鋼板について焼もどし温度 2 水準を選び、2mmV ノッチシャルピー試験を行なった。その遷移曲線を図 19 に示す。

試験結果によるといずれの熱処理条件においても規格(3.46 kg·m 以上)を十分満足しており、とりわけ焼入れ—焼もどしを行なったものについては、-196°C においても脆性破面率が 0% の良好な結果であった。

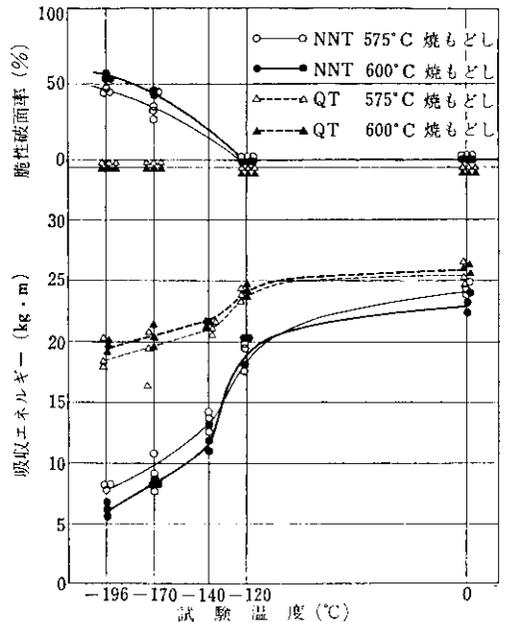


図 19 板厚 73 mm 9% Ni 鋼の熱処理条件による 2mmV ノッチシャルピーの遷移曲線の比較

## 6. 結 び

当社製9%Ni鋼KLN9は、比較的C含有量を低く抑え、また焼入れ—焼もどしの特殊熱処理を施すことにより、いっそうすぐれた低温靱性を得ることができた。溶接性においても割れ感受性は低く、常温でも溶接割れの発生がみられず、ま

た溶接後、あらゆる溶接部で、母材に規定されているVノッチシャルピーの規格を満足した。

今後極低温域での用途にますます広く用いられることが予想され、さらにASTMで定めている板厚の限界、50.8mmを超える極厚材においても十分な性能の保障が可能であり、予想される設備の大型化に対応している。

## 参 考 文 献

- 1) 山崎, 真子他: 石川島播技報, (1970) 5.