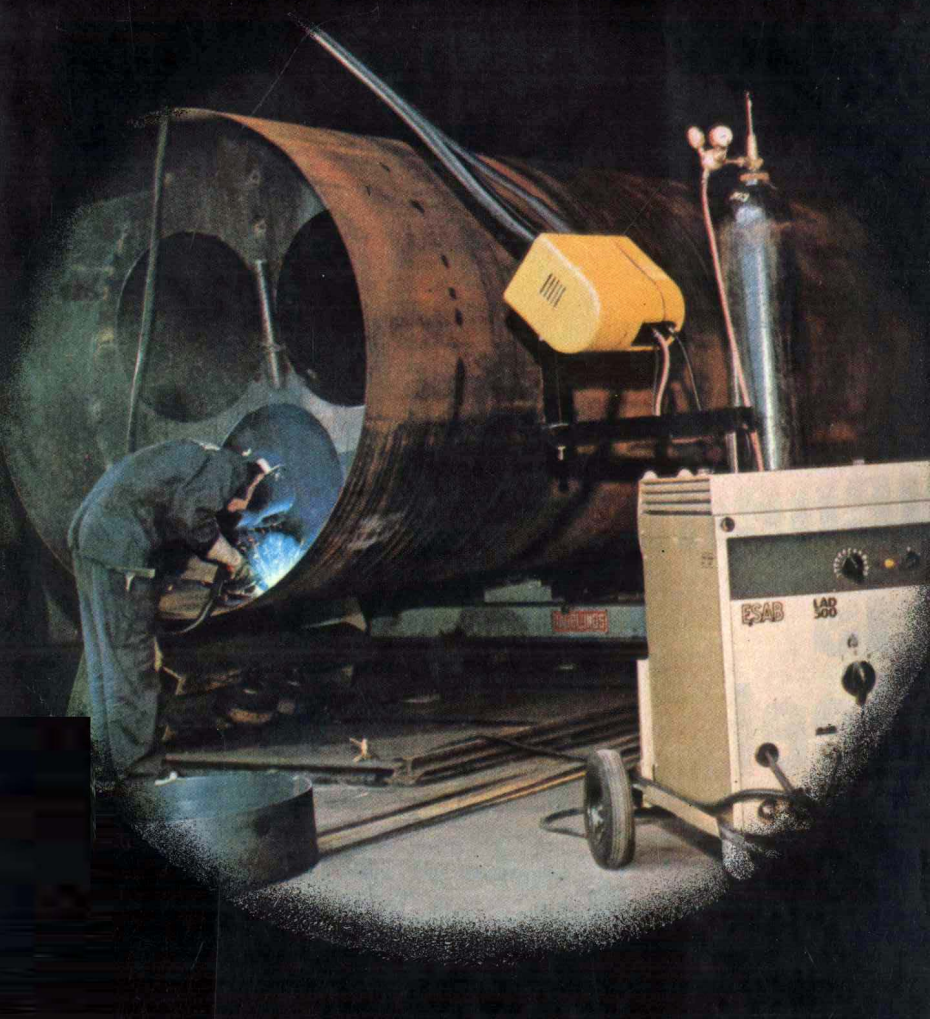


銲接技術叢書6

低溫用鋼

銲接的重點

銲接叢書編輯委員會／監修 ■ 劉榮宗譯



前 言

低溫用鋼和高張力鋼都是戰後的銲接技術所誕生的新構造用材料，此是大家很明瞭的。低溫鋼在我們之前榮耀登場已經有 10 年有餘之時間，其後在化學工業，製鐵工業、或者一般家庭用氣（gas）的需要量漸漸增加，隨着要貯藏這些液化體的，搬運用設備和容器材料等，採用低溫用鋼之發展是很迅速的。這些低溫用鋼的開發和其利用是和其他多種工業技術同樣由歐美先進，構築了很多實績，例如新形式的 AI 淨靜鋼的開發，和其積極有關方面之利用，不如說技術上已經凌駕諸外國也不過言之感。

就這樣在日本國內迎接最盛旺時期的技術之際，能刊行低溫用鋼銲接之索引書，銲接叢書委員會也是望外之高興。特別是執筆者一向對此系統有深的知識和豐富經驗的田村博、山崎康久及河野武亮三位先生來協助更感幸運。關係到低溫用鋼構造物之技術人員，作業者當然必要，但是可廣範到一般技術人員，學生的參考書等等確信很有用處。

有關利用低溫用鋼的新材料來做銲接構造物時，必需對銲接法和銲接施工有關的深厚、知識和周到的配置有考慮之必要，由本書可以得到充分滿足的新技術性感覺和積極性之感受之想法。

又因小冊之紙數有限，例如一般銲接性和調質高張力鋼等等有關方面有簡略化之傾向，能和本書隨着要刊行的 L 高張力鋼銲接的重點 1 互相併用更能增加效果，在此推薦。

昭和 43 年 10 月

銲接叢書編集委員會委員長

稻垣 道夫

目 錄

1. 何謂低溫用鋼

1.1	為何需要低溫用鋼	1
1.2	低溫用鋼的種類和規格	5
1.2.1	軟 鋼	9
1.2.2	低合金高張力鋼	9
1.2.3	低鎳鋼	9
1.2.4	9 %鎳鋼	10
1.2.5	不銹鋼	18

2. 缺口脆性和其試驗法

2.1	何謂缺口脆性	21
2.2	影響到缺口脆性之因素	22
2.2.1	溫度之影響	22
2.2.2	力學的因素	23
2.2.3	冶金的因素	23
2.3	脆性破壞的理論	26
2.3.1	Griffith 的理論	26
2.3.2	Griffith - Orowan 的理論	29
2.3.3	Irwin 的理論	30
2.4	缺口脆性試驗法	31
2.4.1	小型試驗	31
2.4.2	大型試驗	33

3. 低温用鋼的特性

3.1 熱處理和機械性質	38
3.1.1 鋁淨靜鋼	38
3.1.2 高張力鋼	38
3.1.3 低鎳鋼	41
3.1.4 9 % 鎳鋼	42
3.1.5 9 % 鎳鋼的熱處理特性	42
3.2 缺口韌性	45
3.2.1 鋁淨靜鋼	45
3.2.2 高張力鋼	47
3.2.3 低鎳鋼	49
3.2.4 9 % 鎳鋼	50
3.3 由銲接的硬化性	54
3.3.1 鋁淨靜鋼	54
3.3.2 高張力鋼	56
3.3.3 低鎳鋼	59
3.3.4 9 % 鎳鋼	60
3.4 銲接部的延性	62
3.4.1 鋁淨靜鋼	62
3.4.2 高張力鋼	63
3.4.3 低鎳鋼	64
3.4.4 9 % 鎳鋼	65
3.5 銲接龜裂	66
3.5.1 鋁淨靜鋼	66
3.5.2 高張力鋼	66
3.5.3 低鎳鋼	69

3.5.4	9 % 鎳鋼	71
3.6	熱影響部的缺口韌性	73
3.7	氫脆性	76
3.8	耐蝕性	78
3.9	冷間及熱間加工法	81
3.9.1	鋁淨靜鋼	81
3.9.2	高張力鋼	82
3.9.3	低鎳鋼	83
3.9.4	9 % 鎳鋼	83
3.10	疲勞強度	86

4. 低溫用鋼的各種銲接法

4.1	被覆電弧銲接	89
4.1.1	鋁淨靜鋼	89
4.1.2	高張力鋼	92
4.1.3	低鎳鋼	93
4.1.4	9 % 鎳鋼	96
4.2	潛弧銲接	100
4.2.1	鋁淨靜鋼	100
4.2.2	高張力鋼	101
4.2.3	低鎳鋼	103
4.2.4	9 % 鎳鋼	104
4.3	CO ₂ 電弧銲接	106
4.4	惰氣電弧銲接	107
4.5	低溫鋼用銲接材料之規格	109

5. 不銹鋼

5.1	不銹鋼的種類和特點	112
5.2	機械性質	114
5.3	低溫韌性	114
5.3.1	沃斯田鐵鋼的缺口韌性	115
5.3.2	加工應變的影響	116
5.3.3	粒界碳化物形成之影響	117
5.3.4	銲接熱之影響	119
5.4	應力腐蝕	120
5.5	銲接金屬的特性	121
5.5.1	缺口韌性	121
5.5.2	銲接龜裂	122
5.5.3	Σ 脆性和其他	125
5.6	各種銲接法	126

6. 低溫用銲接構造物材料設計上的重點

6.1	低溫用銲接構造物和其種類	132
6.2	低溫用鋼材的問題點	135
6.3	鋼材的選用方法	136
6.4	銲條的選用方法	149

7. 低溫用鋼銲接施工上的重點

7.1	鋼材的收料	152
7.2	銲接條件的決定方法	153
7.2.1	輻熱	153
7.2.2	預熱	155

7.3	銲接施工上的問題點.....	156
7.3.1	銲接材料的乾燥.....	156
7.3.2	半圓鑿.....	157
7.3.3	開槽，和鑲配合.....	157
7.4	銲接施工條件之選定.....	158
 8. 低溫用鋼的應用例		
8.1	L P G 搬運船域山丸.....	162
8.2	1300 ton 液體氧氣槽.....	165
	索 引.....	171

第一章 何謂低溫用鋼

1.1 為何需要低溫用鋼

隨着近來工業之發達也需要帶有種種性能的工業材料。通常比常溫更低的溫度來使用為目的而製作的稱呼為低溫用鋼（Low temperature service steel）。低溫用金屬材料最重要的性質是，對低溫脆化的抵抗力，即是後述的缺口韌性（notch toughness）優越之事項。

低溫用金屬材料主要用途如表 1.1 所示。原來是液化和冷凍工業

表 1.1 低溫工業的種類和必要溫度（Petey）

必要低溫材料之設備	必要溫度（°C）
在石油工業中丙烷的液化分離	-40
血漿的冷凍乾燥	-40
盤尼西林（Penicillin）的冷凍乾燥	-40~-90
鹽素的液化	-55
石油工業中SO ₂ 的液化分離	-60
乾冰（dry Ice）工業	-80
亞氧化氮的精製	-90
鋼的零位以下（Subzero）處理	-100
人造橡皮的製造	-100
甲烷氣（Methan-gas）的液化	-160
由焦炭爐氣來分離乙烯（Ethylene）	-190
液體空氣，液體氧氣，液體氮氣之製造	-200
氦氣（Helium-gas）的抽出	-200

2 第1章 何謂低溫用鋼

來說也比較小規模，強度性的要求也很少，所以使用材料即使是在低溫也能耐脆化的鋁、銅、沃斯田鐵的如圖 1.1 (a) 所示的結果構造的面心立方格子為主。

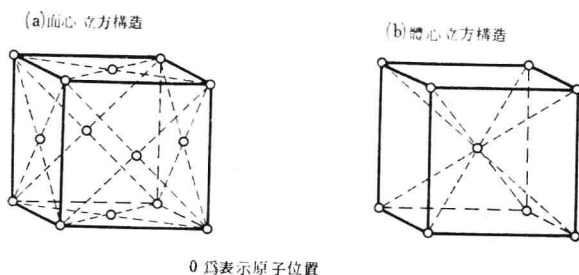


圖 1.1 結晶構造的模式圖

但是最近有種種氣體大量用在工業上，液化石油氣（LPG）和液化天然氣（LMC）或者液體氮和液體氧等之貯藏，輸送容器需要高強度，低價格的如圖 1.1 (b) 的體心立方構造的肥粒鐵（Ferrite）系鐵鋼材料來製作的必要性，急速增加之故，低溫用鋼開始發達。

舉例來說，最近由都市氣更簡便的由農村開始，一部份的都市也浸透到日常生活中，如汽車用燃料已經有使用丙烷（化學分子式為 C_3H_8 ）和天然氣為主成份的甲烷（methan CH_4 ）等等氣體，一般上氣體時容積非常大，液化後容積尚有非常小的性質存在。例如 LMG（液化甲烷）是常在氣壓的約 $1/600$ 的容積。因此無論是甲烷、丙烷、要由遠方搬運或貯藏，必需使它成 LMG 和 LPC（液化丙烷）之狀態，不但容積小，且方便，經濟性，安全性都良好。

但是，這些氣由氣體變成液體所需要溫度（普通，氣壓之下液體到氣體之溫度為沸點）如圖 1.2 所示多半是在 $0^\circ C$ 以下極低的溫度。即是說丙烷約 $-45^\circ C$ ，甲烷約 $-163^\circ C$ ，這些液化氣體的容器用材料必需需要在此溫度的缺口韌性優良之材料為宜。

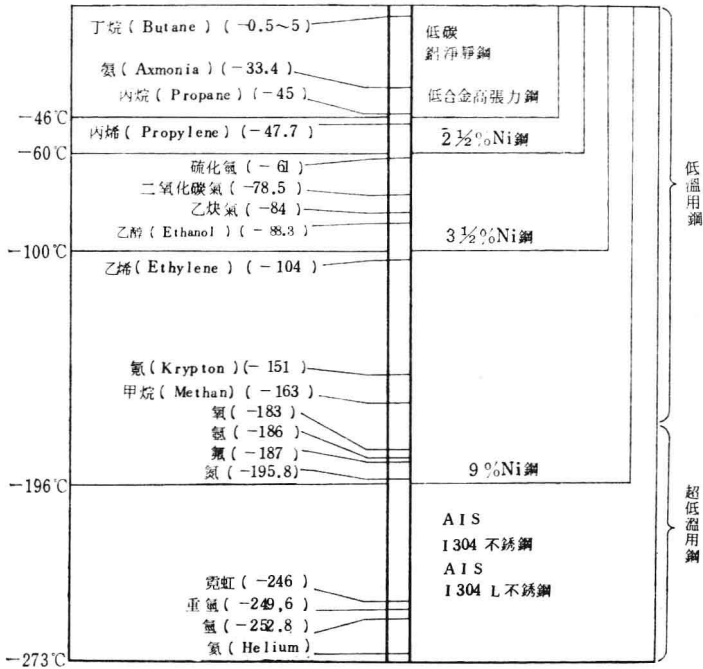


圖 1.2 各種液化氣的沸點及使用對象鋼板

在此常溫以上的臨界溫度以上的氣體加於壓力即可液化的可能，在常溫下也可以貯藏液化氣。當然此時，容器必須有能耐其壓力者。此液化所必要的壓力溫度越低越變小。漸漸降低溫度，到達液化氣大氣壓中沸點止，液化就不必要加壓力。

表 1.2 是代表性液化石油氣 (LPG) 在大氣壓中的沸點和此 LPG 在常溫 20°C 貯藏所必要壓力的指示。然而，液化氣把壓力降低，在大氣壓中的沸點來貯藏最為理想。最近把這些液化氣貯藏和輸送的必要性急激的增加。

表 1.2 代表性 LPG 之液化溫度和常溫的液化所需要之壓力

氣體名稱	1 氣壓以下的液化溫度 (°C)	20° C 液化所需要的壓力 (氣壓)
丁 烷	- 0.5	2
丙 烷	- 42.2	8
乙 醇	- 88.6	37
乙 烯	- 103.0	50
甲 烷	- 161.4	不液化

這些是化學工業積極發展所引導的，原來當做廢氣不要的，現在也變成化學製品的原料或者燃料來活用之故。例如，由化學便氫的液化石油氣 (LPG) 的用途來調查即可知如表 1.3 所示，其分野非常的廣。其他液化天然氣 (LNG)，可由其埋藏量無盡量之稱的阿斯加 (Alaska) 和庫頁島 (Sakhalin) 很低價的輸入，計劃使用在火力發電。要把這些氣輸送到日本必需要有大型的 LPG 或 LNG 的油船 (Tanker)。

又，液體氧氣的製品之品質良好，作業效率高的純氧氣吹管的轉爐 (LD 法) 採用的製鋼所漸漸的增加。其需要性急激的增加中。這液體氧氣是由液體空氣分離製造，實際同時產生的液體氮可作工業用冷煤，或者利用在氮合成化學分野上。

就這樣液化氣體在各方面的使用量增加，這些自然就產生要有效率性的和經濟性來貯藏或者輸送的必要性。

以上由種種目的材料上，構造材上強度及經濟性等理由，使用低溫用鋼為理想。當然這些都由銲接來製作所以銲接上都有很多問題存在。

如果把觀點變換另一方面，低溫之性質及優良銲接性的低溫用鋼

之開發使低溫構造物之建造可能，就是促進利用液化氣體之發展之理由。

表 1.3 液化石油氣（LPG）的用途（由化學便覽）

家庭用燃料	
業務用燃料	
農 業 用	溫室、人工孵化、燒肉加工。
工 業 用	a. 紙、纖維、鍍鋅鋅印刷之乾燥，織布的燒毛，玻璃細工，塑膠之加工。 b. 陶器及玻璃細工，銅及鋁的加工。 c. 鋼的光輝熱處理，浸碳等保護氣流。 d. 氧丙烷切斷，鋼的嵌接（Scarfiging）。 e. 霧劑的壓進劑，打火機。 f. 氨代用的冷煤。
都市氣用	LPG 分解氣，增熱，LPG 空氣，氣體。
內 燃 機 用	LPG 汽油，叉架升降機。
石油工業用	汽油調合原料，脫瀝青，脫碳棒，脫臘溶劑，原油乙次回收的注入劑。
石 油 化 學 工 業 用	2-丙醇（Propanol），丁醇（Butanol）。

因此由以下對這些低溫用鋼的種類，缺口脆性和銲接性為中心的各種銲接法，設計，施工及應用例來敘述。

1.2 低溫用鋼的種類和規格

低溫用鋼有碳鋁淨靜鋼，低合金高張力鋼，低鎳鋼，9%鎳鋼及不銹鋼等等被採用。

其中碳鋼和低合金鋼特別脆有破壞可能之憂，所以採用幾種改善低溫性質之方法。實施充分的脫氧，使結晶顆粒細小同時不純物少清淨鋼之製作方法，改善鋼材缺口軟性之合金元素，例如 Si, Mn, Ni, 等等適量添加之方法，軟燒到（950°C 程度加熱之後，空氣冷却）或者譯火，退火（950°C 程度加熱之後冷，再加熱到 650°C 程度後適當的冷却）。等等所謂實施調質處理之方法及特殊處理，例如 IN 處理 * 實施方法等等。

低溫用鋼之規格自古以來美國就設有如表 1.4 所示的 ASTM A 300，規定軟鋼和鎳鋼等等。表 1.5 是英國 BS 規格所定的低溫用鋼之種類和要求衝擊值。

表 1.4 ASTM-A-300 主要項目（低溫壓力容器用鋼板）

規格	大的	種 別	主要成份 (%)	試驗溫度 (°C)
A 201		鍋爐壓力	Si 0.15~0.30 Mn<0.8	-46
A 212		鍋爐壓力容器用高張力鋼	Si 0.15~0.30 Mn<0.9	
A 203	A, B	鍋爐壓力容器用低 Ni 鋼	低碳 2½ Ni	-60
	C, D	鍋爐壓力容器用低 Ni 鋼	低碳 3½ Ni	-101
A 353		壓力容器用高 Ni 鋼	C<0.13 9Ni	-196
A 410		壓力容器用 Cr-Cu-Al 鋼		-101

5mm U 或者銷孔 缺口試驗中的衝擊值 規定 (kg-m)

試驗片尺寸 (mm)	3 個的平均	各 別 的 最 低 值
10×10×55	≥2.1	≥1.4
7.5×10×55	≥1.7	≥1.2
5×10×55	≥1.4	≥1.0

在日本的國家規格中，最近對低溫壓力容器用碳鋼板（JISG 3126 - 1972）中規定鋁淨靜鋼（參照表 1.6）其他ASTM等為標準的各種低溫用鋼在各製鐵造商被製造中。又日本銲接協會對WES低溫用鋼鋼材質判定規準的制定，讓使用者方便，此詳細如 6 章所述。又日本海事協會（NK），對現在魚、肉冷凍由海外搬運的冷凍貨船和，各種液化石油氣槽輪船（LPG 油槽輪船）建造多隻其實情來看，對這些為對象制定低溫用鋼材規格。表 1.7(a)為日本海事協會低溫用鋼鋼之規格，表 1.7(b)是其使用標準。

表 1.5 BS 規格的衝擊值

記 號	LT 0	LT 15	LT 30	LT 50	LT100	LT190
鋼 種	碳 鋼	矽淨靜鋼	3.5% Ni (*)			
試驗溫度 °C	0	-15	-30	-50	-100	-190
最小衝擊值 kg-m	≥2.1	≥2.1	≥2.1	≥2.8	≥1.4	≥2.1
平均衝擊值 kg-m	—	—	—	—	≥2.1	≥2.8
最低使用溫度 °C	A+	-5	-20	-35	-50	-100
	B+	-20	-35	-50	-60	-100

(注) * 沃斯田鐵鋼 (18% Cr - 8% Ni, 18Cr - 10 Ni - 25 Mo)

A+ 不實施 SR 的銲接容器時

B+ 實施 SR 的銲接容器時

* IN 處理就是鋼材份中，添加適當量的氮和容易和氮化合的 Al, Ti, Zr 等等元素，在壓延和熱處理之工程中使細化的氮化物析出之方法。因細小，氮化物為核心結晶粒變成非常細小之故，同樣成份和不實施 IN 處理比較，強度相當提高，然而缺口韌性也非常良好。

表 1.6 JIS 低溫壓力容器用碳鋼鋼板* (JIS G 3126-1972)

種類	記號	降伏點或 者耐力 kg/mm ²	拉力強度 kg/mm ²	最低使用 溫度 °C	熱處理	V Charpy -- 試驗溫度 (°C) **			
						6< t ≤ 8.5	8.5< t ≤ 11	11< t ≤ 20	20< t
1 種	A SLA24A	t<40≥24	41~52	-30	軟煉	-5	-5	-5	-10
	B SLA24B	t≤40≥22		-45		-30	-20	-15	-30
2 種	A SLA33A	>33	45~57	-45	淬火 退火	-40	-30	-25	-35
	B SLA33B			-60		-60	-50	-45	-55
3 種	SLA37	>37	50~62	-60	*	-60	-50	-45	-55
試驗片之厚×寬(mm)						10×5	10×7.5	10×10	10×10

* A1 處理細粒淨靜鋼

** 吸收能量 (kg·m) 的最高值之 1/2 以上

表 1.7 (a) 日本海事協會低溫用鋼材之規格

鋼材記號	化學成份 (%)					拉力強度 (kg/mm ²)	衝擊試驗			
	C	Mn	Si	P	S		試驗溫度 (°C)	吸收能量 (kg·m)		
KT-35N	≤0.16	≤1.50	≤0.35	≤0.04	≤0.4	41~50	-35	≥5.5		
KT-50N									-50	≥5.5
KT-50Q	≤0.14					≤0.035	≤0.035	46~55	-60	≥6.2
K5T-50Q								50~60	-60	≥7.0

表 1.7 (b) 日本海事協會的低溫用鋼材的使用區分基準

使用溫度 (T °C)	貨物之種類	厚度 (t mm) (mm)			
		t ≤ 15	15 < t ≤ 20	20 < t ≤ 25.4	t > 25.4
0 ≥ T > -10	一般貨物	一般船體構造之使用區分			
	液體 (丁烷等等)	KB	KD	KE, KF	
-10 ≥ T ≥ -25	一般貨物或者液化	KB ¹⁾²⁾ KE 或者 KF ²⁾³⁾			
-25 > T ≥ -35	一般貨物或者液體	KT-35 ³⁾			
-35 > T ≥ -50	液體 (丙烷等)	KT-50N, KT-50Q, K5T-50Q ³⁾			

(注)

- (1) 0.5 L 以上縱穿的強力甲板直下的鋼板 (0.6 KL 間) 和縱穿之脫鈹適用。
- (2) 使用在外板, 強力甲板之鋼板時, 要使用更上級之物品。
- (3) 厚度超過 20 mm 時, 要使用更上一級之物品為宜。

1.2.1 軟鋼

ASTM 規格中 A 201 及 A 212 是相當於低溫用軟鋼，丁烷（Butane）和丙烷（Propane）等為對象的 -46°C 程度止的材料有很廣範的用途。在日本，前述的 JIS 之低溫壓力容器用碳鋼鈹是 -60°C 止的包含使用溫度範圍，其他鍋爐用鋁淨靜碳鋼，SB 42 C 及 SB 46 C，A 201 及 A 212 所各別相當的。在日本實際製作的低溫用鋁淨靜軟鋼，相當低碳，軟燒（Teyon 100 A 等）或者軟燒，退火（N-TUF 30 N 等）之外，淬火，退火（N-TUF 33 等等）種種熱處理之物品。又如 IN 處理等特殊氮化脫氧處理的（NK-LTC-ALK N 等等）也有。又鋼鈹之外銲接性良好的型鋼也有製作。表 1.8（18～19 頁）是日本國內市面上出售的鋁淨靜鋼的例示。

1.2.2 低合金高張力鋼

低合金高張力鋼爲了提高強度爲目的採用種種合金元素，例如 Cr，Mo，Ni，V 等等添加少量即可以如低碳鋁淨靜鋼的大約同樣方法製造出來。然而高強度之外還有優良之低溫性質和銲接性總合的物品爲多的。對需要低溫韌性高強度之必要性爲目的極重要性之鋼材。現在日本銲接協會認可的低溫用鋼中約半數爲高張力鋼所佔有。爲了充分利用高張力鋼其特性之故，採用 LPG 貯藏用之球形槽最多。表 1.9（20～21 頁）是日本國內市面出售的低溫用高張力鋼的一例示。又 ASTM A 410 相當之鋼料在日本也有構造。又低溫用高張力鋼把低溫之性質除外，和一般高張力鋼同等之性能要求。表 1.10（22 頁）是 WES 銲接構造用高張力鋼鈹規格之拔粹*。

1.2.3 低鎳鋼

碳鋼之成份漸漸添加 Ni，Ni 溶化與肥粒鐵（Ferrite）把它強化所以在低溫中缺口韌性提高。圖 1.3 是變化 Ni 量的鋼材之銷孔缺

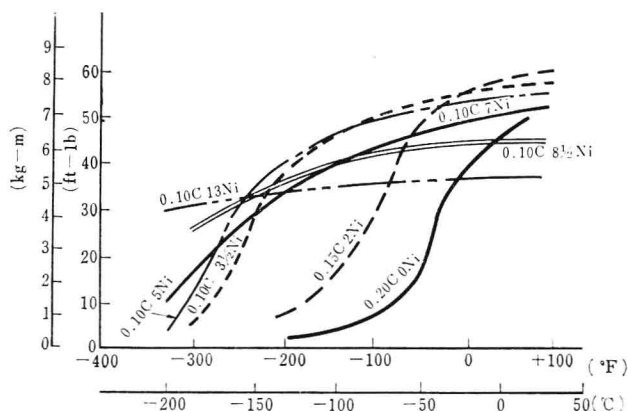


圖 1.3 各種Ni 鋼的銷孔 Charpy 遷移曲線

口衝擊試驗結果的表示，Ni 量漸漸增加移領域（衝擊值急速下降之溫度域）漸漸往低溫方向遷移之中，特別是Ni 添加 3.5 % 時缺口韌性顯著變成良好。實用鋼有 ASTM A 203 所規定的 2.5 % Ni 鋼和 3.5 % Ni 鋼等，在日本這些標準的鋼主要採用在 -100°C 程度為目標的容器類。表 1.11（23 頁）是表示其數例。

這些也是極低碳，熱處理也軟燒（簡略 N），軟燒，退火（NT）及淬火，退火（OT）等等之種類。又有 YND 58 和 2.5 % Ni 鋼，Ni 之外添加其他合金元素的 HT 70（HW 58）相當的高張力鋼。

1.2.4 9 % 鎳鋼

可以使用在超低溫的有低碳 9 % Ni 鋼鋼材。9 % Ni 鋼和沃斯田鐵系不銹鋼或者鋁合金相比較強度較高，可以氣加工而且價格又低是它的特點。表 1.12 是美國的 US Steel 社之比較物品。在日本無

* 詳細請參照「高張力鋼銲接之重點」