

低温用材料の特性とその溶接

住友金属工業KK*

大 森 仁 平**

丸 岡 秀 俊***

1. 緒 言

一般に鋼が低温度において脆くなると言う現象は古くから知られており、低温脆性については多くの研究者の研究対象になつて来た。また低温用鉄鋼材料の開発についても多くの研究が行われ、現在一般的に使用されているアルミ・キルド鋼、3.5% Ni鋼あるいはオーステナイト・ステンレス鋼が見出され市販化されている。最近では、石油精製工業をはじめ石油化学工業、合成繊維工業をはじめとする各種の化学工業の急速な発達により、低温用材料の需要は増加する傾向にある。またこれら材料の加工技術物に溶接技術も多くの研究が行われている。わが国においては日本溶接協会に化学機械溶接研究会が設けられ、その中の高温及び低温材料小委員会においてこの種材料の溶接技術の確立を計るべく討議が行われている。

2. 低温用材料に関する規格

低温用材料の諸性質について述べる前に、規格につい

第1表 化 学 組 成

等級	C% max	Si %	Mn %	P% max	S% max	Ni %
C	0.25		0.64~1.06	0.050	0.060	
3	0.19	0.18~0.37	0.31~0.64	0.050	0.050	3.18~3.82
5	0.19	0.18~0.37	0.20~0.64	0.050	0.050	4.68~5.32

第2表 引 張 性 質

		Grade C	Grade 3 & 5
引 張 強 さ (min) Psi (kg/mm ²)		55,000 (38.7)	65,000 (45.7)
降 伏 点 (min) Psi (kg/mm ²)		30,000 (21.1)	35,000 (24.6)
伸 び (G.L.Z%)	丸棒標準試験片	28% min	22% min
	板 状 試 験 片	E=56t+17.50	E=48t+15.00

(註) E = 伸び(%G.L.=Z%) t = 試験片の板厚 (in)

*鋼管製造所—尼崎市東向島西之町

**主任研究員

***同研究部

て説明する。わが国ではまだ低温用材料の規格は制定されていないが、米国ではすでにASTMにその規定がある。第1～4表は低温用鋼管についての化学成分、引張

第3表 最 高 硬 度 値

Grade	ロックウェル	ブリネル
C	B 85	163
3	B 90	190
5	B 95	207

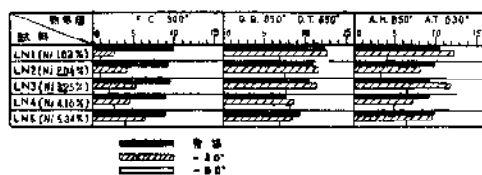
第4表 衝 撃 試 験

衝 撃 強 さ			衝撃試験温度	
試験片 の寸法 (mm)	衝撃強さの 最小平均値 (3ヶの平 均値) ft-lb (kg-m)	衝撃強さの 下 限 値 ft-lb (kg-m)	等級	最低衝撃 試験温度 °F (°C)
10×10	15 (2.1)	10 (1.4)	C 3 5	-50(-46)
10×7.5	12.5(1.7)	8.5(1.2)		-150(-101)
10×5	10 (1.4)	7.0(1.0)		-150(-101)
10×2.5	5 (0.7)	3.5(0.5)		-150(-101)

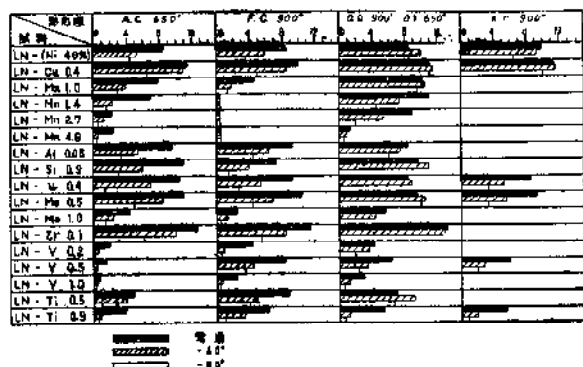
性質、硬度および衝撃値等に対する規格値を示す。低温における機械的性質としては、各材質について特定温度にて衝撃値が 15ft-lb 以上であることを要求している。ただしこの値は標準の 10mm 角 5mm 深さのUノッチ型シャルピー試験片についてである。

3. 低温用材料の諸性質

一般に鋼は低温において脆化するといわれるが、この脆性の定義については一定の方式はない。そして硬度及び引張性質は温度の低下と共に上昇し、伸、絞が僅かに低下する。尚-150°C 以下では伸絞が著しく減少する。従つて低温材料として最も着目すべき条件は低温脆性である。



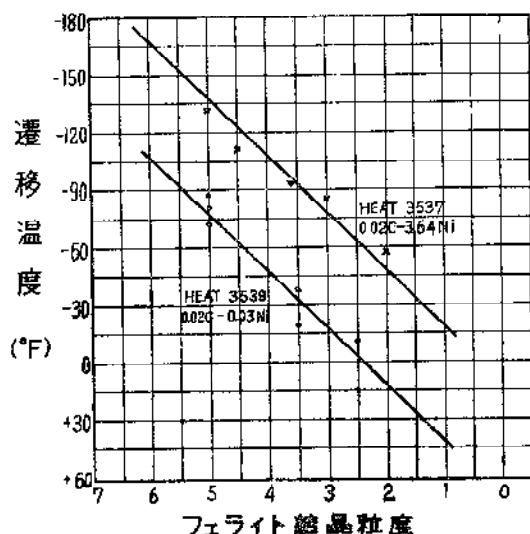
第1図 低炭素 Ni 鋼系のアイゾット衝撃値(kg.m)



第2図 低炭素 Ni 鋼系のアイゾット衝撃値(kg.m)

低温脆性に影響を与える要素としては、化学組成があるが、この他にも溶解法、結晶粒度、熱処理その他の後続加工条件等があり、また試験片の形状、寸法、荷重条件によっても脆性の現象が変わってくる。

この中でも化学組成即ち材質が大きな要因となるが、一般に面心立方格子金属である Al, Cu, Ni, Cr オーステナイト系鋼は低温脆性を示さないが、体心立方格子金属であるフェライト系鋼は低温脆性が著しい。このフェライト系鋼の低温性質を改善するために、合金元素の影響が多く研究者にて研究されて来た。その一例を示すと図1~2のようである。これらの結果から Ni が低温脆性を防止するに有効な元素であり、熱処理も焼入炭を行う方がよいことがよくわかる。Ni 量は3~4%がよ

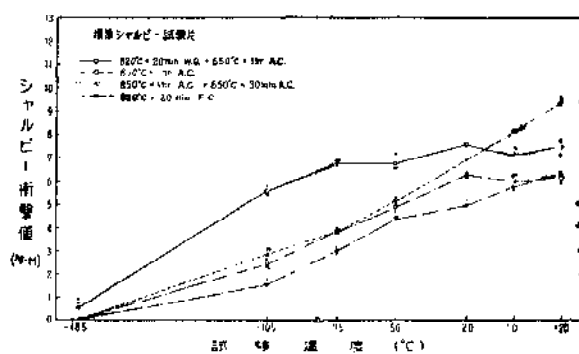


第3図 低炭素鋼および Ni 鋼のフェライト結晶粒度と遷移温度との干係

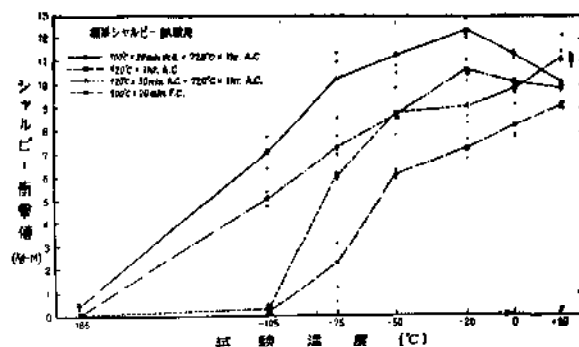
いと考えられるので、これを基礎にして各種元素を添加した場合の影響を見ると、Cu=0.4%, Mo=0.5% および Zr=0.04% は有効であるが、Mn $\geq$ 1.5%, V=0.2~1% および Ti=0.9% は有害である。Al, Si, および W は特別の影響はないようである。次に熱処理について考えると、油焼入後 650°C 焼戻を行えば低温脆性はほとんど無いが、900°C 炉冷の焼鈍状態ではすべて低温脆性を示す。また結晶粒度は細かいことが望ましく、一例を示すと、第3図の通りである。

現在規格され実用に供されている低炭素アルミ・キルド鋼、3.5% Ni 鋼およびオーステナイト・ステンレス鋼について、低温脆性に対する熱処理の影響について実験した結果は第4~6図に示す通りである。フェライト鋼である前2者はいずれも比較的低炭素鋼であるが調質効果は十分に認められ、焼入焼戻状態にて他の熱処理より遙かに良好な低温耐衝撃性を得られる。オーステナイト・ステンレス鋼は元来低温脆性を示さない鋼種であり、熱処理条件によってもほとんど衝撃値に変化を示していない。

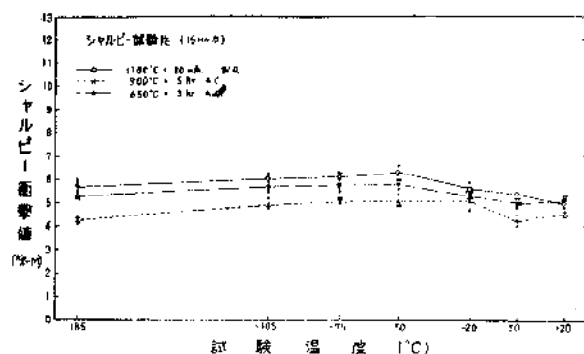
従つて、フェライト鋼にて低温用に使用する材料ではまず結晶粒度を細かくすることであり、また合金元素として有効な Ni を添加加すことである。このようにして、低炭素鋼に少量の Al を添加したアルミキルド鋼およびさらに Ni を添加した3~5% Ni 鋼が開発された



第4図 各種温度における 0.1C~0.8Mn 鋼のシャルピー衝撃値



第5図 各種温度における 0.1C~3.5 Ni 鋼のシャルピー衝撃値



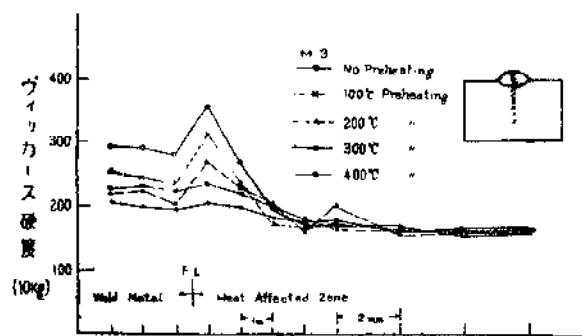
第6図 各種温度における18Cr-8Ni ステンレス鋼のシャルピー衝撃値

のであり、 -60°C までに対してはアルミキルド鋼、 -100°C までに対しては3.5%Ni 鋼または5%Ni 鋼が使用され、更に低温度ではオーステナイトステンレス鋼が用いられる。

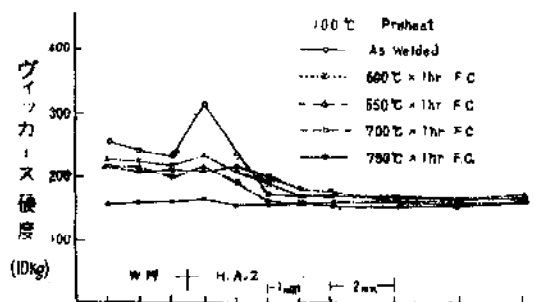
しかしながら低温用材料の選択に際しては使用温度の他に環境条件、腐蝕、加工、および溶接条件等を充分検討して適材材質を決めることが必要である。

4. 低温用材料の溶接

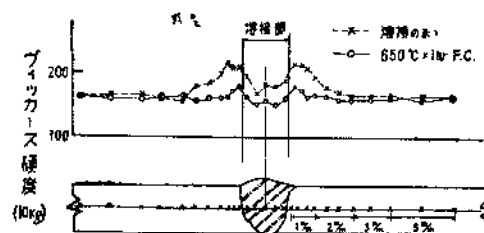
低温用材料の中、溶接が問題になるのは3.5%Ni 鋼である。このような特殊鋼では予熱および後熱は必ず必要である。予熱温度を検討するには、溶接熱影響部の最高硬度の変化から検討することがもつとも普通であつて



第7図 3.5Ni 鋼の予熱条件と溶接部硬度の関係



第8図 3.5Ni 鋼の溶接後熱処理と溶接部硬度の干係 (予熱温度 100°C)



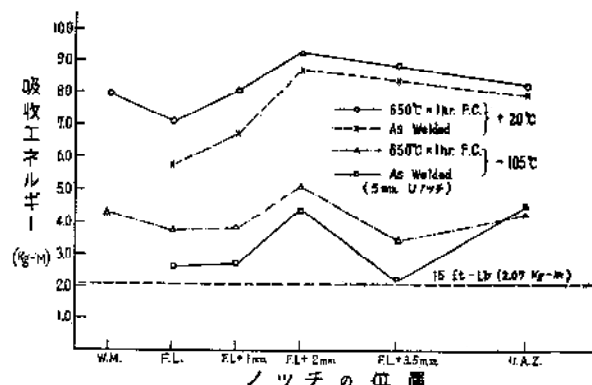
第9図 3.5Ni 鋼の溶接々手硬度分布

第5表 溶接々手の常温引張試験結果

符号	溶接後熱 処 理	降伏点 (kg/ mm ²)	抗張力 (kg/ mm ²)	伸 (%)	破断位置
N R	As Welded	38.3	55.1	23	熱影響部外
		39.1	54.8	24	〃
N F	650°C ×1hr. F.C.	34.1	53.2	25	溶 接 部
		34.8	54.2	24	〃
ASTM A334-58T		≥24.6	≥45.7	≥22	

その結果は第7図のようになる。従つて最高硬度をH.V. 300 以下にするように考えると予熱温度は $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ が妥当であると判断し得る。同様に後熱条件を最高硬度から検討すると、第8図のようになって、最高硬度が約 H.V.200 以下にするように考えると後熱温度は 650°C が妥当であることがわかる。

これらの硬度から判断した予熱および後熱条件が妥当であるかを判断するには、実際の溶接々手について常温および低温機械的性質を調べることが必要である。溶接接手の常温引張試験および断面硬度分布測定結果は第5表および第9図に示す通りである。この場合使用した溶接棒は2.5% Ni 鋼溶接棒である。表よりわかるように、引張試験の結果、破断位置は溶接のままの場合には、母材原質部であり、 650°C 焼鈍の場合には溶接部であつたが、いずれも素材についてのASTM規格を十分満足す



第10図 3.5Ni 鋼の溶接々手熱影響部各部の衝撃試験結果 (以下57頁へ)