極低炭素溶接金属におよぼす合金元素の影響 (第2報)*

—0.01% C 鋳鋼におよぼす合金元素の影響—

益本 功** 木内良郎*** 尾崎弘憲****

Effects of Alloying Elements on the Extremely Low Carbon Cast Steel (Report 2)*

—Effects of alloying elements on the 0.01% C cast steel—

by Isao Masumoto**, Yoshio Kiuchi*** and Hironyri Ozaki****

Abstract

It was previously investigated that the 0.01% C cast steel containing 0.35% Si and 1.50% Mn gave excellent toughness and the same strength as rolled mild steel.

In this report, the effects of aluminium, nickel, chromium, molybdenum and boron additions on the mechanical properties of this extremely low carbon Mn-Si cast steel were additionally investigated.

The results were summerized as follows;

- 1) The addition of a suitable amount of nickel, chromium, molybdenum and boron can lower the energy transition temperature of the extremely low carbon cast steel.
- 2) Nickel, chromium and molybdenum can linearly increase the tensile strength of the extremely low carbon cast steel depending on their contents and chromium was more effective to increase strength.
- 3) The lowest transition temperature and the highest strength of the extremely low carbon cast steel were given by an addition of 0.44% nickel and their values were respectively -45°C and 50 kg/mm².

1. 緒 言

著者らは極低炭素溶接金属の機械的性質を調べる目的で、鋳造のままの極低炭素鋼について引張強さおよび靱性におよぼすマンガ、ケイ素および炭素の影響を調べ、炭素含量0.04%以下の極低炭素溶接金属の化学組成としてケイ素およびマンガンをそれぞれ0.35%、1.50%とすれば靱性のすぐれた溶接金属をうる可能性があることを報告した。また引張強さを上昇させるが、靱性に有害な炭素については、炭素含量が0.08以上になると衝撃値が急激にいちじるしく低下することを示した。¹⁾

本研究においてはさらに、鋳造極低炭素鋼の衝撃値におよぼすアルミニウム、ニッケル、クロム、モリブデンおよびホウ素の影響を調べた。

2. 実験方法

実験方法は第1報¹⁾の場合とまったく同様である。溶

製した擬似溶接鋼の化学組成を Table 1 に示す。C7 は第1報に報告した最も良好な機械的性質を与えると思われる鋳造極低炭素鋼の化学組成である。

3. 実験結果

鋳造極低炭素鋼 C7 の機械的性質を基本とし、以下の実験においては、この鋼の機械的性質におよぼす合金元素の影響を調べた。すなわち鋳造極低炭素鋼 C7 の合金元素は0%として実験結果を整理した。

鋳造極低炭素鋼の機械的性質は、引張強さ: 45 kg/mm², 伸び: 36%, 硬さ: 175, (Hv5), 0°CにおけるVノッチシャルピー衝撃値: 36 kg-m/cm² およびエネルギー遷移温度: -20°C である。Photo. 1 にそのマイクロ組織を示す。

3. 1 アルミニウムの影響

アルミニウムの鋳造極低炭素鋼におよぼす影響を Fig. 1 および2に示す。

引張強さおよび硬さは Fig. 1 に示すように、アルミニウムの添加によりほとんど変化しない。これに対して伸びおよび絞りはいくらかのアルミニウムで一度増し、アルミニウム含量の増加とともに低下する傾向にある。

* 原稿受付 昭和46年9月10日

** 正 員 名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

*** 正 員 日本製鋼所 Member, Japan Steel Works

**** 学生員 名古屋大学大学院 Student Member, Postgraduate Course of Engineering, Nagoya University

Table 1 Chemical analyses of specimens

	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Mo	B
C 7	0.01	0.32	1.50	0.005	0.004					
AL1	0.01	0.35	1.28	0.003	0.005	0.023				
AL2	0.02	0.39	1.57	0.004	0.003	0.046				
AL3	0.02	0.41	1.40	0.003	0.005	0.076				
AL4	0.02	0.39	1.56	0.003	0.006	0.152				
NI1	0.01	0.34	1.37	0.004	0.009		0.19			
NI2	0.01	0.37	1.73	0.003	0.006		0.44			
NI3	0.01	0.39	1.31	0.003	0.007		1.21			
NI4	0.01	0.31	1.39	0.004	0.008		2.75			
NI5	0.01	0.35	1.46	0.003	0.007		6.90			
CR1	0.01	0.38	1.44	0.004	0.014			0.11		
CR2	0.01	0.33	1.13	0.005	0.010			0.28		
CR3	0.01	0.34	1.73	0.003	0.007			0.37		
CR4	0.01	0.37	1.73	0.003	0.007			0.70		
CR5	0.01	0.31	1.39	0.004	0.007			1.09		
CR3	0.02	0.43	1.20	0.003	0.006			2.07		
CR7	0.02	0.44	1.12	0.004	0.008			4.22		
MO1	0.02	0.37	1.78	0.004	0.007				0.13	
MO2	0.01	0.37	1.11	0.003	0.009				0.18	
MO3	0.03	0.35	1.57	0.004	0.007				0.38	
MO4	0.02	0.34	1.12	0.003	0.007				0.70	
B 1	0.02	0.26	1.36	0.003	0.006					0.0038
B 2	0.02	0.37	1.53	0.003	0.012					0.0096
B 3	0.02	0.37	1.12	0.003	0.007					0.012

Fig. 2 はシャルピー衝撃値の遷移曲線であるが、遷移現象は急激で極低炭素鋼の特徴を示している。アルミニ

Photo. 1 Microstructure of the extremely low carbon cast steel; C: 0.01%, Si: 0.32%, Mn: 1.50%, nital etch x100

ウム含量の影響はばらつきが大で明確な傾向はつかみ
たいが、0.076%アルミニウムを添加した場合に遷移温
度は最も低くなっている。0.152% アルミニウムの場合
には、ばらつきがとくに大で一定の推論を下しがたい。
Fig. 3 は 5kg-m/cm² でのエネルギー遷移温度を求めた

Fig. 1 Effect of aluminium content on the mechanical properties of the extremely low carbon cast steel

Fig. 2 Effect of aluminium content on the impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 3 Effect of aluminium content on the transition temperature at 5 kg-m/cm² impact value of the extremely low carbon cast steel

ものであるが、アルミニウムの適量添加による遷移温度低下の効果が認められる。

Photo. 2 は铸造極低炭素鋼のミクロ組織におよぼすアルミニウムの影響を示す。アルミニウム含量が 0.076% の場合微細な組織となっている。アルミニウム含量が 0.152% になると微細な部分と大きく発達したフェライトがみられる。

3. 2 ニッケルの影響

铸造極低炭素鋼の機械的性質におよぼすニッケルの影響を Fig. 4 および 5 に示す。Fig. 4 に示すごとく、引張強さおよび硬さはニッケル含量の増加にともない上昇するが、伸びはわずかに低下する傾向にある。Fig. 5 の衝

Fig. 4 Effect of nickel content on the mechanical properties of the extremely low carbon cast steel

Fig. 5 Effect of nickel content on the impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 6 Effect of chromium content on the mechanical properties of the extremely low carbon cast steel

a) 0.023%Al b) 0.076%Al c) 0.152%Al

Photo. 2 Effect of aluminium content on the microstructure of the extremely low carbon cast steel, nital etch, x100

a) 0.19%Ni b) 0.44%Ni c) 6.90%Ni

Photo. 3 Effect of nickel content on the microstructure of the extremely low carbon cast steel, nital etch, x100

a) 0.28%Cr b) 0.37%Cr c) 4.22%Cr

Photo. 4 Effect of chromium content on the microstructure of the extremely low carbon cast steel, nital etch, x100

a) 0.18%Mo b) 0.38%Mo c) 0.70%Mo

Photo. 5 Effect of molybdenum content on the microstructure of the extremely low carbon cast steel, nital etch, x100

a) 0.0038%B b) 0.0096%B c) 0.012%B

Photo. 6 Effect of boron content on the microstructure of the extremely low carbon cast steel, nital etch, x100

Fig. 7 Effect of Chromium content on the impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 10 Effect of molybdenum content on the impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 8 Effect of chromium content on the transition temperature at 5kg-m/cm² impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 11 Effect of boron content on the mechanical properties of the extremely low carbon cast steel

Fig. 9 Effect of molybdenum content on the mechanical properties of the extremely low carbon cast steel

撃値遷移曲線が示すごとく、ニッケルは1.21%まで遷移温度を下げとくに0.40%ニッケル含量の場合遷移温度は最も低く、 -45°C まで下がっている。しかし2.75%以上になると衝撃値が急激に低下している。この2.75%ニッケル含量以上での衝撃値の急激な低下は、凝固時の鉄—ニッケル系状態における包晶反応が影響を与えるものと思われる。²⁾

Photo. 3はそのマイクロ組織を示す。ニッケル含量0.19%および0.44%のマイクロ組織はPhoto. 1くらべ、微細化しているが、6.9%ニッケルを含む鋳鋼には大きく発達したオーステナイト粒界とともに凝固粒界がみとめられる。

Fig. 12 Effect of boron content on the impact value of the extremely low carbon cast steel

Fig. 13 Effect of boron content on the transition temperature at 5 kg-m/cm² impact value of the extremely low carbon cast steel

3. 3 クロムの影響

鑄造極低炭素鋼の機械的性質におよぼすクロムの影響をFig. 6 および 7 に示す。Fig. 6 に示すごとく、クロム添加の場合引張強さおよび硬さは上昇しているが、伸びは低下の傾向を示し、絞りはクロム含量の増加とともにいったん上昇し、それから低下している。

またFig. 6 に示すごとく、クロム含量0.37%で遷移温度は -40°C まで低下している。しかし0.70%では逆に -25°C 付近まで上昇し、さらにクロム含量が大きくなると、遷移温度の上昇とともに、衝撃値の急激な低下が認められる。Fig. 8 は 5 kg-m/cm^2 の遷移温度とクロム含

量との関係を図示したものである。

Photo. 4 にそのミクロ組織を示すが、クロム含量の増加とともに、フェライト粒はしだいに大きく発達し、しかも不規則な形になっている。そしてクロム含量4.22%では針状化がみとめられる。

3. 4 モリブデンの影響

鑄造極低炭素鋼の機械的性質におよぼすモリブデンの影響をFig. 9 および10に示す。Fig. 9 に示すごとく、引張強さおよび硬さはモリブデンの添加により増加し、伸びおよび絞りはいったん上昇し、含量の増加とともに低下している。Fig. 10 の衝撃値を示す実験結果では、モリブデン含量0.13%で衝撃値遷移曲線は低温に移っているが、0.18%以上では逆に衝撃値が極端に低下している。

Photo. 5 にミクロ組織を示す。モリブデン含量の増加とともにオーステナイト粒界が明確になってくる。フェライトの粒度はモリブデン含量0.18%の場合に最も細かくなっている。

3. 5 ホウ素の影響

鑄造極低炭素鋼の機械的性質におよぼすホウ素の影響をFig. 11 および12に示す。機械的性質は他の合金元素と異なり、ホウ素含量の増加とともに、Fig. 11 に示すごとく、伸びおよび絞りはやや上昇の傾向を示しているが、引張強さは変化しない。Fig. 12 の衝撃値遷移曲線ではホウ素含量0.0038%の場合、遷移温度は低温に移っているが、0.0096%含量以上では衝撃値が極端に低下している。Fig. 13 は 5 kg-m/cm^2 における遷移温度とホウ素含量との関係であるが、適量のホウ素添加により遷移温度の低下が認められる。顕微鏡観察によっても、Photo. 6 に示すように、0.0038%ホウ素含量の場合には組織が微細化しているが、ホウ素含量0.0096%以上では、オーステナイト粒界が明瞭にあらわれ、まったく異なった組織を示している。

4. 総括ならびに結言

極低炭素鋼の引張強さは、アルミニウムおよびホウ素以外の合金元素により一般に上昇し、その効果は次の実験式であらわされる；

$$\text{Ni} : \sigma_B = 45 + 2.5 \times (\text{Ni wt}\%), \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Cr} : \sigma_B = 45 + 10 \times (\text{Cr wt}\%), \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Mo} : \sigma_B = 45 + 2.5 \times (\text{Mo wt}\%), \text{ kg/mm}^2$$

ただし σ_B は引張強さ

引張強さの上昇に対してはクロムが最も効果的な合金元素であることが認められる。ニッケルおよびモリブデンは同程度の効果を有する。アルミニウムおよびホウ素は鑄造極低炭素鋼の引張強さには影響を与えなかった。

Table 2 The lowest transition temperature of the extremely low carbon cast steels added each element and their mechanical properties

Element	Chemical composition, wt%	Energy transition temperature, °C	Tensile strength, kg/mm ²	Elongation G.L-20mm, %	Reduction of area, %
Mn	1.50	-20	42	36	52
Al	0.076	-35	45	19	55
Ni	0.44	-45	50	25	68
Cr	0.37	-40	40	25	64
Mo	0.13	-30	48	32	72
B	0.0038	-38	45	44	76

鑄造極低炭素鋼の衝撃値遷移温度はアルミニウム, ニッケル, クロム, モリブデンおよびホウ素の適量添加により低下する. また顕微鏡観察において, 凝固組織またはオーステナイト粒界が明瞭に認められる場合は一般に衝撃値はいちじるしく低くなった.

以上の結果をまとめて0.01%~0.02%C 鑄鋼の最も低い遷移温度を示す各合金元素の含量とその機械的性質を Table 2 に示す. ニッケル0.44%含む鑄造極低炭素鋼の

衝撃値遷移温度は-45°Cで, その引張強さは50kg/mm²を与える.

参 考 文 献

- 1) 益本, 篠田, 木内, 尾崎「極低炭素溶接金属におよぼす合金元素の影響(第1報)」溶接学会誌 Vol. 40(1971), No. 10, 72s-77s
- 2) 益本, 今井「溶接鋼の高温割れについて」溶接学会誌, Vol. 39(1970), No. 6, 79s-89s

次 号 予 告

資 料

《鋼溶接部の気孔の生因と防止策》

溶接会属の気孔とそのガス組成	益 本 功
鋼溶接部の気孔生成と雰囲気	小 林 卓 郎
鋼溶接部の気孔と強度	石 井 勇五郎

論文および報告

アルミニウム合金の疲れ強さにおよぼす 雰囲気およびエポキシ樹脂被膜の影響	{ 益 本 功 江 原 隆一郎
引張りをうける十字すみ肉溶接継手の変形挙動と強度 (第1報)	{ 佐 藤 邦彦 瀬 尾 健成 曾 根 二典
二元素 $\alpha + \beta$ Ti 合金と準安定 β Ti 合金の連続冷却変態に関する研究	{ 井 新 川 博夫 森 川 成 樹
局部収縮理論にもとづくすみ肉溶接継手の強度解析	{ 佐 藤 邦彦 瀬 尾 健成
鋼溶接金属の窒素含量におよぼす合金元素の影響 (第2報)	{ 小 桑 卓 郎 木 名 立 武而
大出力炭酸ガスレーザの熱源的研究 (第5報)	{ 荒 田 吉 明 宮 本 勇
高周波アークに関する研究 (第1報)	{ 西 口 公 之義 黄 地 尚
爆発圧接境界の波形成に関する研究	{ 恩 沢 忠 男 石 井 勇五郎

文 献 紹 介