

(113) 低炭素低合金鋼の変態点と化学成分の関係

住友金属工業, 中央技術研究所

工博 三好栄次・理博○邦武立郎・岡田隆保

住友金属工業, 小倉製鉄所 加藤 直

The Relation of Chemical Composition to the Critical Temperatures of Low-Carbon Low-Alloy Steels.

Dr. Eiji MIYOSHI, Dr. Tatsuro KUNITAKE, Takayasu OKADA and Tadashi KATOU.

1. 緒 言

鋼の A_{c1} , A_{c3} 変態点を化学成分から計算する経験式として, 従来幾つかの提唱^{1)~4)}がある。しかしこれらは主として中程度の炭素含有量の鋼について実験的に求められたものである。したがって, 最近注目されている溶接性高張力鋼などの低炭素低合金鋼に対して, 必ずしも適用されるとは考えられない。事実, 文献¹⁾²⁾によりこれらの鋼の変態点を計算する時, いずれも実測値よりもかなり低い計算値を与える。著者らは, 溶接性構造用鋼に関する研究⁵⁾⁶⁾の一環として, 低炭素低合金の変態点を化学成分から計算する実験式を得たので報告する。

2. 実験方法

Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Ti, Zr, Nb, Al, B の諸合金元素を種々の量含有する C 0.07~0.22% の鋼を 83 チャージ高周波炉によつて溶製した。その化学成分の配分には, 実験計画法的な考えを導入した。供試鋼の化学成分範囲を Table 1 に示した。

変態点は, Leitz 熱膨張計を用い, 次のような加熱条件を用いて測定した。熱膨張の測定倍率は約 200 倍であ

る。

常温から 700°C まで.....5.7°C/min

700°C 以上1.5°C/min

熱膨張測定によつて得た dilatation-temperature curve から, オーステナイト化の開始 (A_s) および終了温度 (A_f) を求めた。

このようにして求めた変態点におよぼす合金元素の効果を定量的に表わすために, 変態点と合金元素量の関係の実験式を求めた。この場合, 各合金元素の効果は元素量に関して直線的であつて, また各種合金元素が組み合わされた場合の効果は加算的であると仮定した。すなわち各変態点について化学成分との関係の線型回帰計算を行なつた。

$$y_i = \sum a_{ij}x_j + k_i \dots \dots \dots (1)$$

y_i は A_s または A_f , (°C) x_j は合金元素の含有量 (wt. %), a_{ij} は各合金元素についての係数, k_i は定数である。

3. 実験結果

(1) 式における a_{ij} , k_i を求めた結果を Table 2 に示す。ここでは重相関係数 (MCC) 標準偏差の推定値 (\sqrt{VAR}), 寄与率 (ρ^2) なども示した。すなわち A_s および A_f の重相関係数はそれぞれ 0.93 および 0.97, また寄与率はそれぞれ 84 および 93% であり, 非常に高い値である。Table 2 には, さらに各合金元素についての係数 a_{ij} の有意性の検定結果を示した。

Fig. 1 は, A_s についてまた Fig. 2 は A_f についてそれぞれ計算値と実測値の関係を示したものである。計算値と実測値の良好な一致が示されている。

内外における 15 種類の代表的な実用高張力鋼について変態点を実測し, 本報に提唱した実験式による計算値

Table 1. Chemical composition of steels.

n = 83

Alloying element	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Zr	Nb	Al	B
Range in Content	0.07 } 0.22	0.14 } 1.28	0.35 } 1.72	0.08 } 1.08	0.03 } 3.18	0.02 } 1.64	tr. } 0.61	tr. } 0.35	tr. } 0.18	tr. } 0.27	tr. } 0.06	0.003 } 0.036	tr. } 0.0043

Table 2. Results of regression analysis.

Critical temperature	Partial regression coefficient, °C/%									
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	
As	-26.6	17.6*	-11.6	-22.9**	-23.0**	24.1**	22.5*	-39.7*	-5.7	
Af	-476.5**	56.0**	-19.7**	-16.3*	-26.6**	-4.9	38.1**	124.8**	136.3**	

Critical temperature	Partial regression coefficient, °C/%				K °C	MCC	\sqrt{VAR}	Contribution (ρ^2)
	Al	B	Zr	Nb				
As	-169.4	-894.7	31.9	232.6	750.8	0.93	10.2	84
Af	198.4	3315.0**	35.0	-19.1	937.2	0.97	10.5	93

Significance level: ** 99%, * 95%

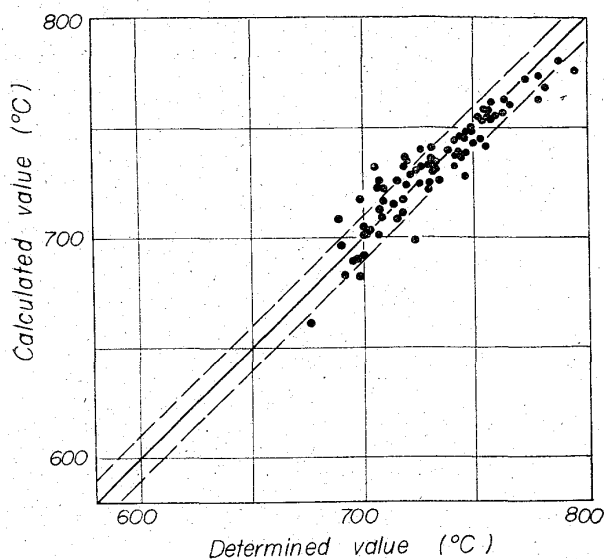


Fig. 1. The comparison between determined and calculated values of A_s .

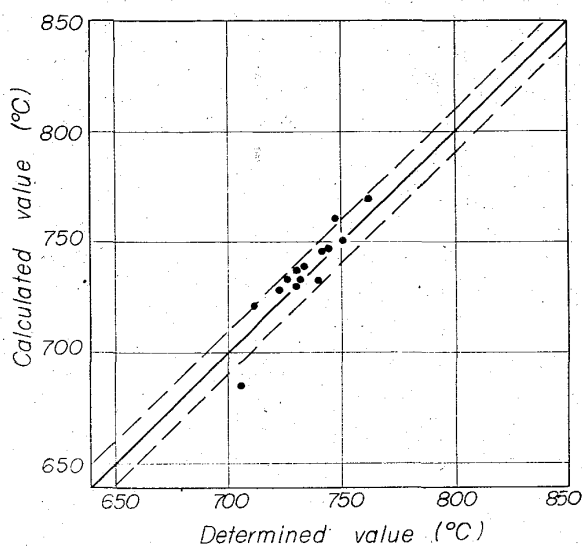


Fig. 3. The comparison between determined and calculated values of A_s for weldable high-strength steels.

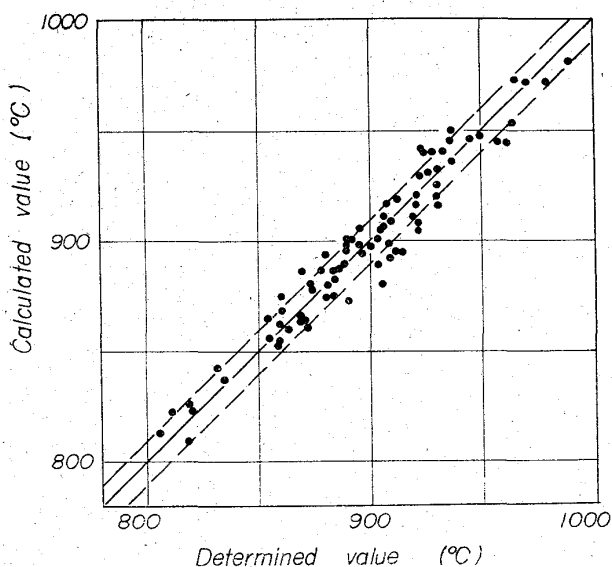


Fig. 2. The comparison between determined and calculated values of A_f .

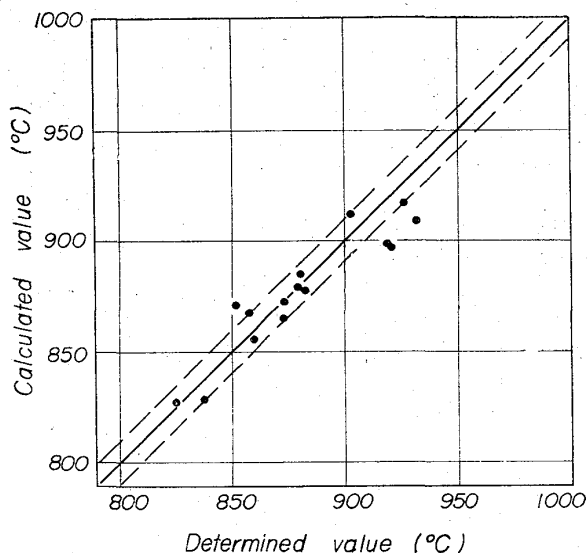


Fig. 4. The comparison between determined and calculated values of A_f for weldable high-strength steels.

と対比した結果を A_r については Fig. 3 に, A_f については Fig. 4 にそれぞれ示した. 計算値と実測値の一致は非常に良く, A_s , A_f ともに土約 10°C の精度で A_s , A_f

を計算し得ることがわかる. A_s , A_f の両者を比較すれば A_f の方が実験式の適合はさらにすぐれている. Table 3

Table 3. Comparisons of present results with those published in literatures.

C \ A	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Source
As	- 27	18	-12	-23	-23	24	22	-40	-6	Present investigation GRANGE ¹⁾ KUNITAKE & KATOU ³⁾
	-	22	-14	-	-14	23	-	-	-	
	- 32	23	-18	⊖ *	⊖	17	5	16	⊕	
Af	-476	56	-20	-16	-27	-5	38	125	136	Present investigation GRANGE ¹⁾ ABOTT ²⁾ KUNITAKE & KATOU ³⁾
	-179	44	-14	-	-18	-2	0	-	-	
	-224	30	-34	-	-11**	0	-	38	-	
	-395	55	-14	⊖	⊖	6	24	83	⊕	

* not evaluated as a linear coefficient.

** when C% is 0.54.

A: Alloying element.

C: Critical temperature.

669.14.018.29:621.785.6.011:539.434
:669.24:669.26

は主要な合金元素について本実験で求めた係数と、従来の実験式の係数との比較を行なったものである。各合金元素の影響の正負、その大きさの順位にはほとんど差がないが、値そのものには定量的に差があり、実験式全体として低炭素低合金鋼については本報の実験式が最も良く適合することについてはすでにのべた通りである。

4. 結 言

低炭素低合金鋼の変態点を化学成分から精度良く計算することができる実験式を提唱した。すなわち、加熱時変態の開始および終了をそれぞれ A_s , A_f ($^{\circ}\text{C}$) とおけば、次の通りである。

$$A_s(^{\circ}\text{C}) = 750.8 - 26.6 \times \%C + 17.6 \times \%Si - 11.6 \times \%Mn - 22.9 \times \%Cu - 23.0 \times \%Ni + 24.1 \times \%Cr + 22.5 \times \%Mo - 39.7 \times \%V - 5.7 \times \%Ti + 31.9 \times \%Zr + 232.6 \times \%Nb - 169.4 \times \%Al - 894.7 \times \%B \dots \dots \dots (2)$$

$$A_f(^{\circ}\text{C}) = 937.2 - 476.5 \times \%C + 56.0 \times \%Si - 19.7 \times \%Mn - 16.3 \times \%Cu - 26.6 \times \%Ni - 4.9 \times \%Cr + 38.1 \times \%Mo + 124.8 \times \%V + 136.3 \times \%Ti + 35.0 \times \%Zr - 19.1 \times \%Nb + 198.4 \times \%Al + 3315.0 \times \%B \dots \dots \dots (3)$$

文 献

- 1) R. A. GRANGE: Metal Progress, 79 (1961) 4, p. 73
- 2) R. A. ABBOTT (1933); 大和久: 金属, 28 (1958) 8, p. 561
- 3) 邦武, 加藤: 鉄と鋼, 50 (1964) 4, p. 666
- 4) A. S. KENEFORD: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 189 (1958) 6, p. 135
- 5) 邦武ほか: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 1080
- 6) 岡田ほか: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 1083

(114) SC 材の焼入性および不完全焼入組織の機械的性質におよぼす少量の Ni, Cr の影響

(鋼の諸性質におよぼす不純金属の影響に関する研究—IV)

金属材料技術研究所

○吉松史朗・工博 荒木透・工博 中川龍一
The Effects of Small Amounts of Ni and Cr on Hardenability and Properties of Slack Quenched Zone of 0.5% C Constructional Steel.

(Studies on effects of metallic impurities on properties of steel—IV)

Shirō YOSHIMATSU, Dr. Tōru ARAKI and Dr. Ryuichi NAKAGAWA.

1. 緒 言

著者らは先般来普通鋼の諸性質におよぼす少量の Ni,

Table 1. Chemical composition.

(%)	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Cu
Steel								
1	0.54	0.26	0.62	0.05	0.27	0.019	0.023	0.11
2	0.50	0.26	0.69	0.43	0.42	0.005	0.032	0.15
3	0.50	0.31	0.69	0.61	0.23	0.009	0.030	0.15
4	0.50	0.31	0.71	0.63	0.41	0.010	0.031	0.15
5	0.52	0.28	0.67	0.64	0.65	0.009	0.027	0.15
6	0.52	0.27	0.66	0.64	0.85	0.012	0.026	0.15
7	0.50	0.23	0.64	0.85	0.42	0.004	0.030	0.15
8	0.55	0.29	0.64	1.04	0.27	0.020	0.025	0.11
9	0.55	0.27	0.64	1.04	0.47	0.020	0.024	0.12
10	0.52	0.30	0.64	1.04	0.65	0.020	0.024	0.12
11	0.51	0.28	0.64	1.05	0.86	0.020	0.024	0.12

Cr の影響について系統的な調査を行なつてきているが、本報告では S50C の焼入性および焼戻特性、機械的性質に関して完全焼入の状態での Ni, Cr の影響について報告した前報¹⁾に関連して前報に示された焼入性倍数における Ni, Cr の相乗効果以上の効果の本質的なものを追求する目的とあわせて、不完全焼入組織とその機械的性質についても調査を行なうことを目的とする。

2. 供 試 材

Table 1 に各供試材の化学成分を示す。基本成分を市販 S50C とし、Ni を 0.4, 0.6, 0.8, 1.0%, Cr を 0.2, 0.4, 0.6, 0.8% それぞれ複合添加して溶製したものである。

試料は塩基性高周波溶解炉で 100 kg 溶解し、50 kg インゴットに 2 分鑄した。次に 1150 $^{\circ}\text{C}$ に加熱後、仕上寸法厚さ 15mm, 巾 250mm に熱間圧延し各試験に供した。

3. 実験結果および考察

3.1 焼 入 性

S50C における Ni および Cr の焼入性倍数に関しては、Ni, Cr ともに複合添加による焼入効果が大きく現われ、一般にいわれている共存元素間における相乗作用以上の効果が認められることは前報¹⁾で述べた。同様な現象はすでに認められており²⁾、この効果の本質的な解明は HOLLON らの microstructure-hardenability の概念からなされなければならない。したがって焼入性におよぼす合金元素の影響は、パーライト、ベーナイト各段階の変態速度におよぼす合金元素の影響と考えて、パーライト、ベーナイト各段階の変態速度におよぼす合金元素の相互作用を見出す目的で、Ni 含有量の異なる Steel 3, 6 および Steel 8, 11 について恒温変態処理を行なった。試験片は、1 \times 3 \times 10mm の小片を用い、予備実験より 650 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$, および 450 $^{\circ}\text{C}$, 400 $^{\circ}\text{C}$ を選定して変態を測定した。なおこれらの温度はそれぞれパーライト、ベーナイト段階の最高変態速度に近い温度に相当する。

パーライトの核生成速度の測定は、SCHEIL³⁾らによつて用いられた Method 1 によつて行なった。この方法によるとパーライトの核生成速度は、

$$\dot{N} = kt^n$$

の関係で増加していくとされている⁴⁾。Fig. 1 は、各変態時間経過後のパーライト核数を単位体積中のオーステ