

669.14.018.295:669.15-194.2-153.65
:539.4:620.172.2

V, Mo, Cr, Mn の効果が大きい。降伏点の計算式における各元素の係数を抗張力のそれと比較すると、焼ならしの時に C, Cr, Mn が抗張力におよぼす影響が大きいのを除くと、係数は非常に似通っている。径25mm 丸棒の場合について、焼ならしと 600°C 焼もどしの場合を比較すると、焼もどしを行なった方が係数は大きくなっている。この Mo-B 系鋼において、焼ならし後焼もどしを行なった場合、降伏点の上昇は著しい。合金元素の効果の焼もどし温度による変化のもようは、合金元素によつて差違がみとめられる。降伏点の場合についても一般に寸法効果は小さい。

なお、引張試験における伸び、絞りについても、化学成分との間に同様の実験式を求めることができたが、抗張力、降伏点の場合と比較すれば重相関係数、寄与率などはやや低くなる。

4. 結 言

Mo-B 系鋼について、その強度と化学成分の関係を検討し、次の形の実験式を求めた。

$$P = K + \sum a_i x_i$$

P: 性質

a_i : 合金元素 i についての係数

x_i : 合金元素 i の量, wt. %

K: 定数

抗張力および降伏点と化学成分についての関係式は、寄与率も大きく、誤差も小さい。したがって、強度を化学成分から十分な精度をもつて推定し得ることがわかった。ここで明らかにされたような関係は、Mo-B 系高張力鋼の強度の推定、比較、確認など、それぞれの目的に利用し得、新材質の開発に有益な知識を提供する。

文 献

- 1) W. E. BARDGETT, L. REEVE: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 163 (1949), p. 277
- 2) K. J. IRVINE: ibid, 186 (1957), p. 54
- 3) K. J. IRVINE, F. B. PICKERING: ibid, 187 (1957), p. 292, 188 (1958), p. 101; 194 (1960), p. 137; 201 (1963), p. 518
- 4) 山木: 鉄と鋼, 45 (1959) 4, p. 438
- 5) 鈴木: 日本機械学会誌, 62 (1959), p. 113

(195) 低合金系高張力鋼の研究

(非調質高張力鋼の強度と化学成分の関係—II)

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

小倉製鉄所 加藤直

Study of Low Alloy High Strength Steels.

(The relation of chemical composition to the strength of high strength steels in the normalized condition— I)

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

1. 緒 言

前報において、Mo-B 系ベイナイト鋼の強度におよぼす合金元素の影響について述べたが、本報においては焼ならし、および焼ならし・焼もどし状態の低合金鋼の強度におよぼす C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, Cu の影響について述べる。

2. 実験方法

上述の7元素それぞれの強度におよぼす効果を求め、さらに二元素間の交互作用の有無を確認するため、直交配列表 $L_{16}(2^{15})$ によつて成分を定めた16鋼種を溶製した。各合金元素の水準を Table 1 に示す。合金元素のわりつけには、各元素それぞれの主効果は単独に得られるように、また、交互作用については本実験の場合、その交絡はさげえないが、重要と考えられるものはできるだけ重複しないように配慮した。

溶製成分には、目標値に対し多少偏位するものもあつたが、結果の解析にとくに問題となるほどのものではないと考えられた。厚さ13mm×巾200mm×長さ450mmの板に焼ならし、および焼ならし・650°C 焼もどしの熱処理を行なった。これより圧延方向に平行部径 8.5mm ϕ , ゲージ長さ 50mm の引張り試験片を2本ずつ作製し、引張り試験を行なった。

Table 1. Composition level (wt. %).

| Element | | First level | Second level | \bar{x}_i |
|---------|-------|---------------|--------------|-------------|
| C | x_1 | 0.099 (0.09)* | 0.178 (0.17) | 0.139 |
| Si | x_2 | 0.280 (0.25) | 0.520 (0.50) | 0.400 |
| Mn | x_3 | 1.235 (1.20) | 0.639 (0.60) | 0.937 |
| Ni | x_4 | 0.354 (0.35) | 0.990 (1.00) | 0.672 |
| Cr | x_5 | 1.010 (1.00) | 0.365 (0.35) | 0.688 |
| Mo | x_6 | 0.156 (0.15) | 0.314 (0.30) | 0.235 |
| Cu | x_7 | 0.231 (0.25) | 0.591 (0.60) | 0.412 |

* () Designed value.

Table 2 The Range of tensile properties.

| Heat treatment | Tensile strength (kg/mm ²) | Yield strength (0.2% offset kg/mm ²) | Yield ratio | Elongation % | Reduction of area % |
|-----------------------|--|--|-------------|--------------|---------------------|
| As normalized | 49~108 | 24~64 | 0.48~0.65 | 14~27 | 42~70 |
| Normalized & tempered | 47~75 | 33~58 | 0.70~0.79 | 20~34 | 57~73 |

3. 実験結果

Table 2 に供試 16 鋼種について得られた引張り性質の範囲を示す。

なお、これら各鋼の顕微鏡組織は焼ならし状態の抗張力が約 75 kg/mm² 以上ではほぼ完全なベイナイト、これ以下ではフェライトを含むベイナイト+フェライトである。

Table 2 に示した各引張り性質におよぼす合金元素の効果を、次の実験式により定量的に評価した。

$$P = \bar{P} + \sum a_i(x_i - \bar{x}_i) + \sum b_{ij}(x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j)$$

ここで P: 性質

\bar{P} : 実験で求められた性質の平均値

a_i : 合金元素についての係数

b_{ij} : 2 元素 i, j 間の交互作用の係数

x_i : 合金元素 i の量, wt. %

\bar{x}_i : 合金元素の平均量, wt. %

Table 3 に上式によつて各性質について求めた各合金元素の係数、およびその有意性の検定結果、信頼限界、ならびに寄与率などを一括して示した。また Fig. 1, 2 に焼ならしの場合について、抗張力ならびに降伏点の本実験式にもとづく計算値と実測値を図示し、比較した。

これらより、強度は十分な精度をもつて成分により、

推定できることがわかるが、各合金元素の効果、前報の Mo-B 系鋼の結果との比較などについて述べれば、次のとおりである。

(1) 焼ならし材の抗張力に対しては、いずれの元素も有意な効果を与え、抗張力を増加せしめる。とくに C と Mo の影響が大きく、つづいて Mn, Cr, Ni, Si, Cu の順である。この場合、二元素間の交互作用は認められない。降伏点に対しても、抗張力とほぼ類似の関係が認められるが、Si と Cu の効果は有意ではない。Fig. 1 には、別途調査した 2, 3 の低合金鋼について、その抗張力の実測値と本実験式による推定値との関係を併記 (○印) したが、両者はよく一致することがわかる。伸び絞りの延性値に対しては、各元素ともこれらを減ずるが有意な効果を示す元素は少なく、その寄与率も強度にくらべて低い。

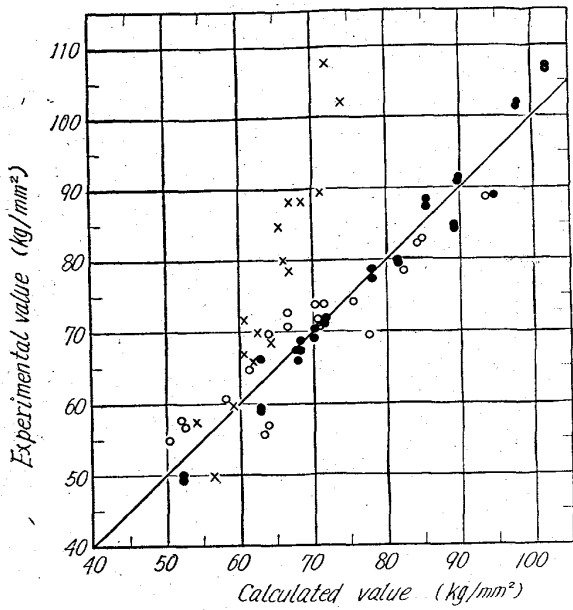
(2) 焼ならし・焼もどし材の抗張力、降伏点に対しては、いずれの元素も有意な効果を与え、それらを増大せしめる。強度に対し、C, Mo の効果が大きい点は焼ならし材の場合と同様であるが、焼もどしをくわえた場合には Si と Cu の効果が相対的に大きくなっている。

(3) 前報りで述べた Mo-B 系鋼の結果との比較をおこなうと、主合金元素の係数は本実験で求めた 95% 信

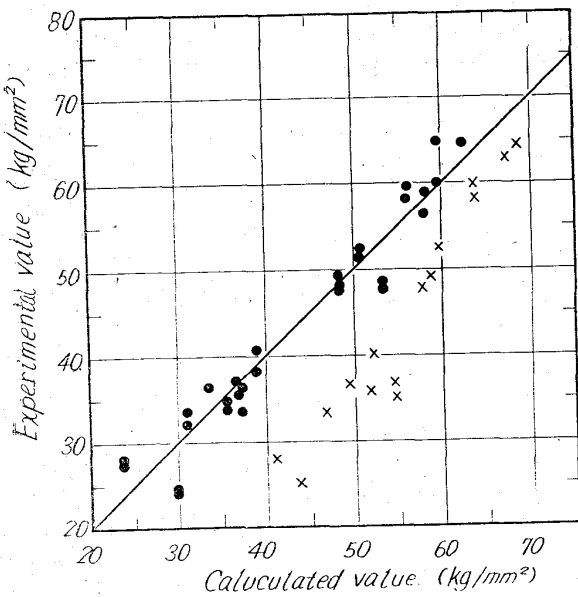
Table 3. Results of regression analysis.

| Heat treatment | Property | Statistical parameter | Alloying element | | | | | | | \bar{P} | \sqrt{VAR} | Contribution (%) |
|--------------------------------|------------------|--|------------------|------|------|-------|-------|------|------|-----------|--------------|------------------|
| | | | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | Cu | | | |
| As normalized | Tensile strength | Partial regression coefficient (a_i) | 229.8 | 15.4 | 31.0 | 16.0 | 20.2 | 56.5 | 9.1 | 76.8 | 2.8 | 0.977 |
| | | Significance level (S. L.) | ** | * | ** | ** | ** | ** | * | | | |
| | | Confidence limit 95% (C. L.) | 32.1 | 11.6 | 4.2 | 3.9 | 3.8 | 17.3 | 6.7 | | | |
| | Yield strength | a_i | 168.6 | -2.3 | 22.9 | 13.2 | 13.7 | 66.3 | 7.3 | 44.1 | 3.2 | 0.960 |
| S. L. | ** | | ** | ** | ** | ** | | | | | | |
| C. L. | 43.8 | 15.9 | 5.7 | 5.3 | 5.2 | 23.7 | 9.2 | | | | | |
| Elongation | a_i | -31.3 | 1.2 | -9.1 | -3.8 | -8.7 | -14.2 | -2.8 | 20.3 | 1.8 | 0.787 | |
| | S. L. | * | | ** | * | ** | | | | | | |
| | C. L. | 29.6 | 10.8 | 3.8 | 3.6 | 3.5 | 15.9 | 6.2 | | | | |
| Reduction of area | a_i | -102.8 | -16.6 | -8.5 | -0.4 | -10.2 | 8.1 | -7.1 | 51.7 | 2.2 | 0.835 | |
| | S. L. | ** | * | ** | | ** | | | | | | |
| | C. L. | 36.1 | 13.0 | 4.7 | 4.3 | 4.2 | 19.5 | 7.5 | | | | |
| Normalized & Tempered at 650°C | Tensile strength | a_i | 131.3 | 11.1 | 10.9 | 8.1 | 9.7 | 40.2 | 9.1 | 61.2 | 1.2 | 0.988 |
| | | S. L. | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | | | |
| | | C. L. | 13.4 | 4.9 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 7.2 | 2.8 | | | |
| | Yield strength | a_i | 88.8 | 6.5 | 11.0 | 9.1 | 8.5 | 41.1 | 9.1 | 45.8 | 1.0 | 0.989 |
| S. L. | | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | | | | |
| C. L. | | 11.7 | 4.2 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 6.4 | 2.4 | | | | |
| Elongation | a_i | -55.1 | -6.8 | -6.2 | -3.1 | -7.4 | -27.1 | -4.6 | 24.8 | 1.6 | 0.777 | |
| | S. L. | ** | | ** | | ** | ** | | | | | |
| | C. L. | 26.1 | 10.3 | 3.3 | 3.1 | 3.0 | 14.1 | 5.4 | | | | |
| Reduction of area | a_i | -75.8 | -0.6 | -0.9 | -1.9 | -2.0 | -23.8 | -8.7 | 64.6 | 1.1 | 0.797 | |
| | S. L. | ** | | | | | ** | ** | | | | |
| | C. L. | 17.4 | 6.3 | 2.3 | 2.1 | 2.0 | 9.4 | 3.6 | | | | |

** 99%, * 95%



●○: Calculated by present experimental formula.
 ×: Calculated by $(61.0 \times C_{eq} + 24.3)^{1/2}$.
 Fig. 1. Calculated versus experimental value of tensile strength of normalized plate (13 mm thickness).



●: Calculated by present experimental formula.
 ×: Calculated by formula for Mo-B steel⁽¹⁾.
 Fig. 2. Calculated versus experimental value of yield strength of normalized plate (13 mm thickness).

頼限界内で一致するものが多く、主合金元素の強度に対する効果は両系ではほぼ等価と考えられる。これより、B ならびに V, Ti, Zr などの微量元素の含有も主合金元素の効果には大きな影響を与えないことがわかる。ただし、Mo-B 系鋼と本実験の低合金系鋼では、同一主合金元素含有量において、その強度レベルが多少ことなり、前者が高い。Fig. 2 には、本実験に供試した鋼の降伏点を Mo-B 系鋼の実験式を用いて算出した計算値と実測

値の関係を併示(×印)したが計算値のほうが高くなっている。

(4) 通常よく使用される C 当量 (C_{eq})⁽²⁾⁽³⁾ とも、本実験の合金元素の相対的な効果はかなり一致している。しかし、 C_{eq} を用い $(61.0 \times C_{eq} + 24.3)$ によつて、本実験に供試した鋼の抗張力を求めると、Fig. 1 に示すように、高抗張力側で計算値と実測値の差が大きくなる。本実験で得た実験式はこれよりも、より高い抗張力域までの推定が可能で、この点でその適用範囲はより広いといえる。

4. 総 括

直交配列表 $L_{16}(2^{15})$ にしたがつて成分配合をきめた、C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, Cu の 7 元素を含む低合金鋼について、焼ならし、および焼ならし・焼もどし状態の強度におよぼす合金元素の影響を、実験式を求めることにより、定量的に評価した。

降伏点、抗張力はいずれの熱処理の場合にも、十分な精度をもつて、合金成分より推定することができる。この場合、2 元素間の大きな交互作用はほとんど認められない。前報の Mo-B 系鋼の結果と比較すると、両者の強度レベルは若干ことなつてはいるが、両者の合金元素の効果はきわめてよく一致している。

また、通常よく使用される C_{eq} とも、合金元素の効果の傾向は一致するが本実験式はそれによるよりも、より高い抗張力域までの推定に使用しうると考えられる。

文 献

- 1) 三好ほか: 鉄と鋼, (1965)
- 2) 山木: 鉄と鋼, 45 (1959) 4, p. 438
- 3) 鈴木: 日本機械学会誌, 62 (1959), p. 113

(196) 溶融非鉄金属中における鉄の拡散係数の測定

名古屋工業技術試験所

工博 袁輪 晋・○加藤 誠・小坂 岑雄

Measurement of the Diffusion Constant of Fe in Some Liquid Non-ferrous Metals.

Dr. Susumu MINOWA, Makoto KATŌ and Mineo KOSAKA.

1. 緒 言

金属および合金の溶融状態における化学変化の動力学的研究においては、合金を構成している成分の拡散に関する知見はきわめて重要なことであり、それについての研究もしくは拡散係数の測定の報告も少なくない⁽¹⁾。しかしながらいま、溶融金属中における鉄の拡散に問題を限定すれば、それに関する報告例はほとんどみあたらないのが現状である。たとえば溶融 Zn 中の鉄の拡散係数値は、実用的にも意義あるものにもかかわらずその測定値はみあたらないようである。

すでに筆者らは前報⁽²⁾において、溶融 Zn 中の鉄の拡散係数の測定の困難な問題点を明らかにした。さらにひきつづいて溶融 Zn をはじめとし Al, Sn および Mg 中における鉄の拡散係数を Stefan & Kawalki の方法⁽³⁾により求めたので、ここに報告する。