

Fig. 5. SAC hardenability curves of steels tested (austenitized at 850°C for 30 minutes).

である。Vは焼入性を高める元素であるが、この効果は本試験でも認められた。NbおよびTaはオーステナイトのCを固定するので焼入性を低下せしめる傾向があると考えられるが、本供試材程度の添加量ではその影響は極めて小さい。各供試材とも880°Cから水焼入れし、300~700°C×4hrの焼モドシ処理をほどこして引張試験をおこない焼入焼モドシ特性におよぼすV、NbおよびTaの影響を調査した。この結果V鋼は600°C以下のすべての焼モドシ温度において他の4供試材より高い耐力および引張強さを示したが、Nb鋼、Ta鋼およびNb-Ta鋼は比較材と差がなかった。これは通常の焼入温度ではNbおよびTaがγ中に固溶せずその影響が出ないためであると考えられる。

5. 結 言

本研究ではNb添加低炭素鋼に関する前回の研究に引続いて、中炭素鋼(0.35% C-1.30% Mn 鋼)におよぼすV、Nb、TaおよびNb-Ta添加の影響を調べた結論を得た。

1. NbおよびTaの単独または複合添加は中炭素鋼のオーステナイト結晶粒粗大化防止に非常に有効である。
2. 焼ナラシならびに焼ナマシ状態の強度に対して、Vが最も大きな効果を有し、NbおよびTaは1200°C

の高温熱処理後析出硬化作用を生じる。

3. Vは焼入性を高めるがNbおよびTaは非常にわずかであるが焼入性を低下する。またVは焼入焼モドシ状態の強度を増加せしめるがNbおよびTaは通常の焼入温度では影響が認められない。

文 献

- 1) W. B. MORRISON: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), Apr. (1963), p. 317
- 2) E. T. STEPHENSON et al: Trans. Amer. Soc. Metals, 57, p. 208
- 3) 鈴木, 金田, 新名, 梶: 鉄と鋼, 50 (1964) 12, p. 2014

(194) Mo-B 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—I)

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 寺崎富久長・加藤直

Study of Mo-B 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, Fukunaga TERASAKI and Tadashi KATOU.

1. 緒 言

溶接性高張力鋼の研究の一環として、その強度と鋼の化学成分の関係を求めることをこころみた。本報では、Mo-B含有鋼をベースとした鋼についての研究結果をのべる。この系統の鋼の実用鋼としては、例えば英国で開発された60キロハイテン Fortiweld がある。これらの鋼は、圧延あるいは焼ならしによつてベイナイト組織となり、それによつて高い強度が得られることを特徴としている^{1)~3)}。

2. 実験方法

C, Si, Mn 以下合計11種類の合金元素を、いろいろの割合において組合わせた計42種類の化学成分を、実験

Table 1. The range of chemical composition of steels.

C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Zr	Nb	Al	B
0.07 ~0.20	0.14 ~1.10	0.48 ~1.36	0.09 ~1.08	0.05 ~1.51	0.02 ~1.56	0.08 ~0.60	0.01 ~0.35	0.01 ~0.18	0.01 ~0.27	0.04 ~0.06	0.003 ~0.029	0.0019 ~0.0043

Table 2. The range of tensile properties. bar: diameter 25 mm

Heat Treatment	Tensile strength kg/mm ²	Yield strength* kg/mm ²	Yield ratio	Reduction of area, %	Elongation %
As normalized	48~102	30~65	0.58~0.71	47~72	14~37
Normalized & tempered	45~107	32~100	0.68~0.95	48~74	16~36

* 0.2% off set

Table 3. Quantitative evaluations of the effect of alloying elements.

bar: diameter 25 mm

Heat treatment	Property*	a_i^{**}											K**	MCC	\sqrt{VAR}	ρ^2		
		C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	B					Zr	Nb
As normalized	T. S. (kg/mm ²)	223	18	19	15	12	18	36	25	-24	47	15	1	-101	-9.2	0.95	4.2	88.5
	Y. S. (")	127	8	12	6	5	13	34	24	-4	-5	-890	8	-71	-0.2	0.95	3.2	87.3
Tempered at 600°C	T. S. (")	158	13	19	5	9	17	45	54	-9	8	-2025	-10	-107	8.3	0.98	3.0	93.8
	Y. S. (")	162	11	19	9	11	16	49	55	-2	-118	-2048	0	-98	-7.4	0.97	3.6	91.8
Tempered at 650°C	T. S. (")	131	11	15	2	8	13	47	68	-4	-58	-1133	4	-127	15.1	0.97	3.0	93.7
	Y. S. (")	131	9	15	5	10	13	51	71	-3	-44	-942	11	-149	-1.1	0.97	3.8	92.0
	R. A. (%)	-58	-3	-3	-1	-1	-4	-12	-7	13	-68	-91	-6	35	84.6	0.86	2.1	68.0
	El. (")	-25	-5	-7	-5	-1	-4	-18	-25	-2	3	388	-15	-18	44.1	0.90	2.0	74.0
Tempered at 700°C	T. S. (kg/mm ²)	88	7	9	0	4	8	37	61	24	-138	141	17	-114	24.9	0.95	3.5	88.0
	Y. S. (")	68	9	6	4	5	8	44	68	30	-357	1378	47	-138	10.5	0.94	4.1	84.9

* T. S.: Tensile strength, Y. S.: Yield strength, R. A.: Reduction of area, El.: Elongation
 ** Property = $K + \sum a_i x_i$, x_i : wt. % of alloying element

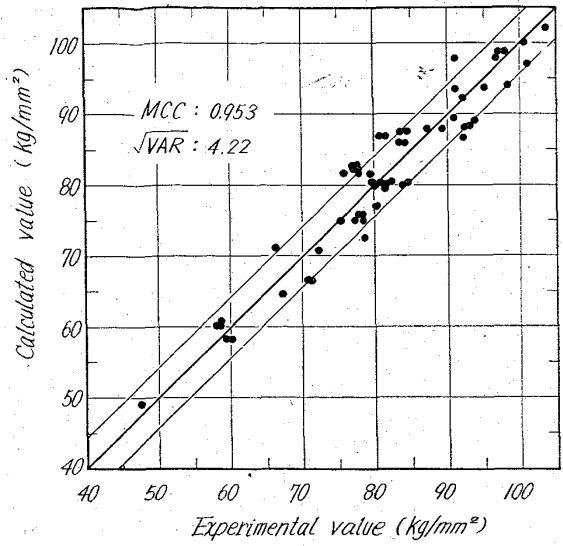


Fig. 1. Calculated vs. experimental value of tensile strength of normalized bar (25 mm diameter).

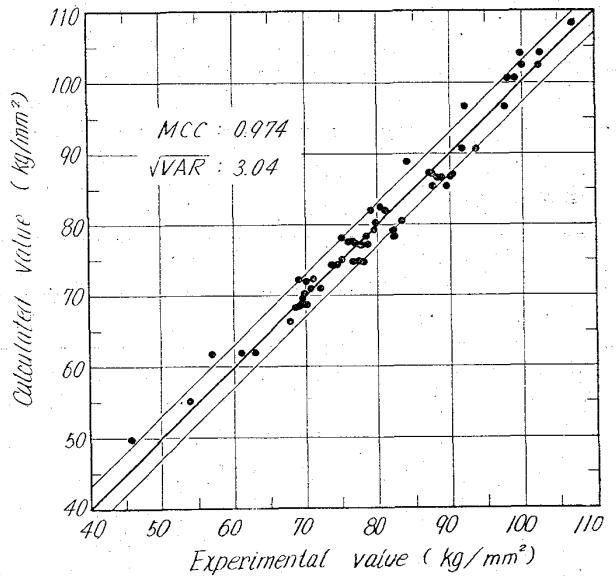


Fig. 2. Calculated vs. experimental value of tensile strength of normalized & tempered bar (25 mm diameter).

計画法に準じて選定した。各合金元素の含有目標値は 3 ~ 5 水準とした。B は 0.003%, Al は sol. Al 0.03% をそれぞれ目標として一定とした。

Table 1 に溶製した供試鋼の化学成分範囲を示した。熱処理は、焼ならし、および焼ならし+焼もどしとした。焼ならし温度は $AC_3 + 30^\circ\text{C}$ とし、焼もどし温度は 600, 650, 700°C の 3 種類に変化せしめた。また径 25 mm の丸棒、板厚 25 mm および 50 mm の板の 3 種類の寸法について検討した。供試鋼はいずれの場合も、焼ならしのままで主としてベイナイトからなる組織を示していた。したがって本実験は、低炭素ベイナイト鋼の強度におよぼす化学成分の影響を検討したのもということもできよう。いずれの場合も、平行部径 8.5 mm, ゲー

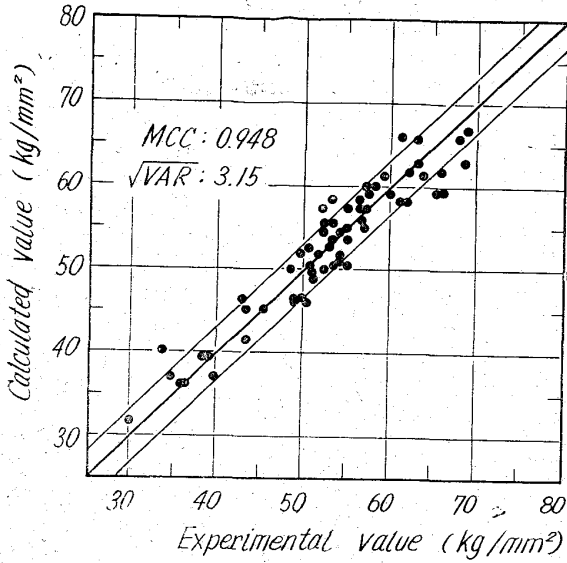


Fig. 3. Calculated vs. experimental value of yield strength of normalized bar (25 mm diameter).

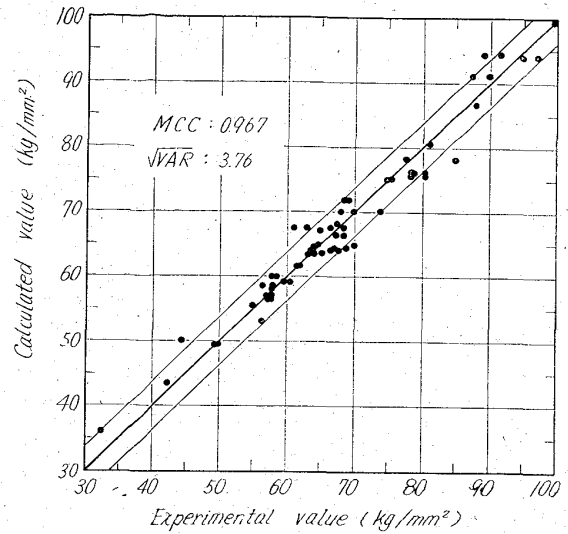


Fig. 4. Calculated vs. experimental value of yield strength of normalized & tempered bar (25 mm diameter).

Table 4. Comparisons among various investigations concerning the effect of alloying elements on the tensile strength.

		C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti
Present investigation	N	1 (223)	0.082	0.085	0.067	0.053	0.081	0.161	0.112	-0.105
	N & T	1 (131)	0.082	0.111	0.013	0.050	0.098	0.354	0.515	-0.030
Irvine ³⁾		1 (197)	—	0.125	0.032	0.064	0.125	0.096	0.200	0.200
C _{eq} ⁴⁾⁵⁾		1 (61)	0.143	0.200	0.143	0.050	0.111	0.500	0.500	—

ジ長さ 50mm の引張試験片を作製し、引張試験を行なった。

3. 実験結果

径 25mm の場合について、得られた引張試験成績の範囲を Table 2 に示した。

引張性質におよぼす合金元素の効果を定量的に表わすために、各性質と合金元素量との関係の実験式を求めた。この場合各合金元素の影響は元素量に関して直線的であつて、またいろいろの合金元素の影響は加算的であると仮定した。すなわち、寸法、熱処理別に、各性質について線型回帰計算を行なった。

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

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

Table 3 に、径 25mm の場合について得た結果を表示する。各性質について、定数、各合金元素の係数、重相関係数 (MCC)、標準偏差の推定値 (√VAR)、寄与率 (ρ²) を示した。Fig. 1, 2 に径 25mm の場合について、それぞれ焼ならしのまま、および焼ならし後 650°C 焼もどしについて、抗張力の計算値と実測値を対比比較した。降伏点についての同様の図を Fig. 3, 4 に示した。

抗張力と化学成分の関係を表わす実験式についてみると、抗張力を上昇せしめる合金元素としては、C, V, Mo, Mn, Cr の影響が大きい。ただし個々の合金元素の効果の相対的な大きさには、熱処理条件によつて差違がみとめられる。例えば、径 25mm の丸棒の焼ならしと、600°C 焼もどしを比較すると、焼もどしによつて C, Si の係数は小となり、一方 V, Mo の係数は大きくなる。その効果の焼もどし温度による変化についても、合金元素によつて差違がみとめられる。一方、寸法効果は小さいことがみとめられた。

Table 4 に、本実験で求めた実験式、IRVINE³⁾らが Mo-B 鋼について得た実験式、Mn 鋼をベースとして求められ通常よく用いられている C 当量⁴⁾⁵⁾についての実験式の各合金元素の係数の比較を示す。ここでは、各合金元素の係数の大きさを、C の係数に対する比で示している。実験式を求めた条件が類似している本実験の焼ならしのままの場合 (N) と IRVINE³⁾らは大体よく一致しているが、Mo, V の効果が多少相異し、Ti の効果は大きく異なつている。また C_{eq} と本実験の N を比較すると、C_{eq} では C の影響が小さく、これに比して Mo, V が大きく、Si, Mn, Cu もやや大きい影響を示すようである。

降伏点と化学成分の関係を示す実験式の係数について検討すると、降伏点を上昇せしめる合金元素として、C,

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