

Fig. 2. The effect of reheating temperatures on the microstructure and absorbed H_2 after pickling (steel B).

十分匹敵する加工性をもつと考えられる。また Al キルド鋼にみられる Al 脆性は勿論、それ以外の熱間脆性の傾向はこの種の鋼にはほとんど認められない。

(2) 熱間加工時の加熱温度としては 850°C ~ 1050°C が適当であり、 1050°C を越える加熱を行なった場合には、強度は上昇し、切欠靱性は低下する。これは Nb, V 等の炭窒化物が固溶しはじめるためと考えられる。また 2 相共存域に加熱加工した場合には強度が低下する傾向があるため注意しなければならない。

(3) 再加熱加工後酸洗処理をする場合には、とくに加熱温度に留意し、水素の吸収量を低くすることが大切である。ウイドマンステッテン状の過熱組織となつた場合には水素吸収量が増大するため、とくに注意が必要であるが、適正加工条件により加工すれば、酸洗時水素吸収量は 6 ppm 程度であるから、時効処理により吸収水素を若干逸散せしめることにより良好な特性がえられる。

文 献

- 1) 合田, 権藤, 日吉: 溶接学会誌, 33(1964) 9, p. 811
伊藤(悌), 西, 伊藤(誠), 中杉, 日高: 溶接学会誌, 33 (1964) 9, p. 812

(134) 調質高張力鋼の強度と化学成分の関係

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

小倉製鉄所 加藤 直

The Relation of Chemical Composition to the Strength of Weldable High Strength Steels in the Quenched and Tempered Condition.

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

1. 結 言

さきに、溶接性高張力鋼の研究の一環として、非調質鋼の強度と化学成分の関係を求め、強度は化学成分によつて十分な精度をもつて推定しうることを報告したが¹⁾²⁾、本報では、調質型高張力鋼を対象として、その強度ならびに焼入性と化学成分の関係について同様の検討を行なった結果を述べる。

2. 実験方法

C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo 計 7 元素をそれぞれの強度ならびに焼入性におよぼす効果を求め、さらに 2 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。

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

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 13 mm × 巾 200 mm × 長さ 450 mm の板をゆるやかに回転する水中に焼入れし、650°C で焼もどしを行なつた。これより圧延方向に平行部径 8.5 mm φ, ゲージ長さ 50 mm の引張り試験片を 2 本ずつ作製し引張り試験を行なつた。また、Jominy 試験片は別に鍛造した 30 mm φ 棒より作製し JIS に規定の方法によつて試験を行なつた。

3. 実験結果

3.1 強度と化学成分の関係

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、これら各鋼の焼入れ組織はマルテンサイトまたはベイナイトまたは両者の混合組織で、いずれもフェライトは含んでいない。

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。

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

Table 2. The range of tensile properties.

Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (0.2% offset) (kg/mm ²)	Yield ratios	Elongation, %	Reduction of area, %
61~83	49~73	0.80~0.89	15~23	62~72

Table 3. Results of regression analysis (Tensile properties).

Property	Statistical parameter	Alloying element							\bar{p}	$\sqrt{\text{VAR}}$
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu		
Tensile strength	Partial regression coefficient (a_i)	153.7	8.0	4.3	3.2	5.3	35.2	5.6	73.0	1.3
	Significance level (S. L.)	**	**	**	**	**	**	**		
	Confidence limit 95% (C. L.)	13.6	4.9	1.8	1.6	1.6	7.3	2.8		
Yield strength	a_i	132.4	1.5	6.0	5.1	4.7	40.3	6.6	62.1	2.4
	S. L.	**	**	**	**	**	**	*		
	C. L.	27.2	9.9	3.6	3.3	3.3	14.9	5.8		
Elongation	a_i	-23.9	3.3	1.9	0.7	-0.7	1.3	-2.9	20.1	1.2
	S. L.	*	*	*	*	*	*	*		
	C. L.	19.3	7.0	2.5	2.3	2.3	10.4	4.0		
Reduction of area	a_i	-38.2	-3.1	-3.2	-2.4	-2.6	-13.3	-1.9	66.2	1.0
	S. L.	**	**	**	*	*	**	**		
	C. L.	15.9	5.8	2.1	1.9	1.9	8.6	3.3		

** 99% * 95%

ここで、

- p : 性質
- \bar{p} : 実験で得られた性質の平均値
- a_i : 合金元素 i 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 i 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、信頼限界などを一括して示した。

抗張力と化学成分の関係を表わす実験式についてみる

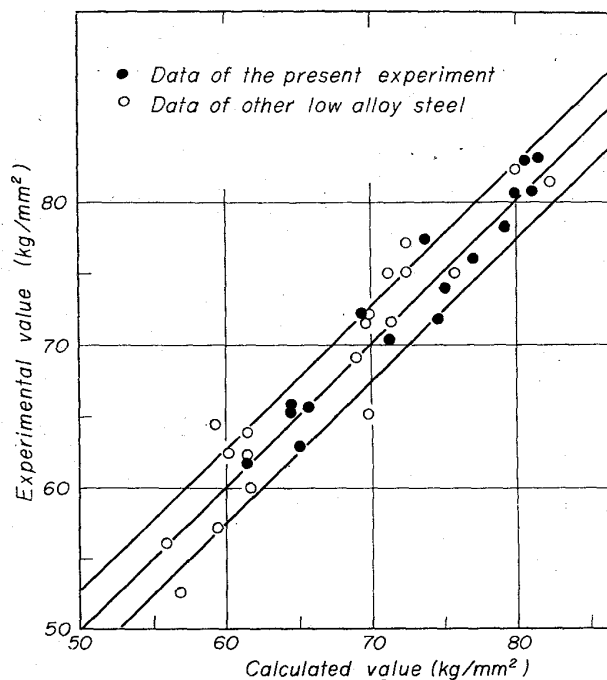


Fig. 1. Calculated versus experimental value of tensile strength of quenched and tempered plate.

と、抗張力を上昇せしめる合金元素としては C, Mo の影響が大きく、他の元素の効果はほぼ同程度とみることができる。この傾向は降伏点についても同様である。一方、伸び、絞りについて検討すると、伸びについては各合金元素に有意な効果はほとんど認められないが、絞りについてはかなり明瞭な合金元素の影響が認められる。これらの場合、2 元素間に大きな交互作用はほとんど認められない。

Fig. 1 に実験式の適合度について検討した結果の一例を示す。この図には本実験の供試鋼ならびに同種の高張力鋼についての計算値と実測値の関係を示したが、かなりよい精度をもつて化学成分より強度を推定しうることが分る。従来、調質低炭素低合金鋼の強度におよぼす成分の影響を求めたものとして、合金成分の単体添加の効果調べた報告³⁾があるが、これと比較すると Ni, Cr, Mo 各元素の影響に類似の効果が認められる。

3.2 焼入性と化学成分の関係

以上に板厚 13 mm 材について得られた強度の推定式を述べたが、この結果をより広い板厚範囲に対し適用するには焼入性について併せ検討して

おく必要がある。焼入性と化学成分の関係を求めるには組織的な特性値と合金元素の関係を求めなければならないが、低炭素低合金鋼においてはその組織の識別、定量化が必ずしも容易でない場合があるので、ここでは測定が容易で、実用上に意味のある焼入硬度と合金元素の関係を求めることとした。すなわち、Jominy 一端焼入性試験を行ない、その特性値として各位置の硬度をとり、成分との関係を求め、これによつて Jominy 曲線を推定する実験式を求め、焼入性を評価した。

供試 16 鋼種の Jominy 焼入曲線を Fig. 2 に、また強度の場合と同様にして求めた解析結果を Table 4 に

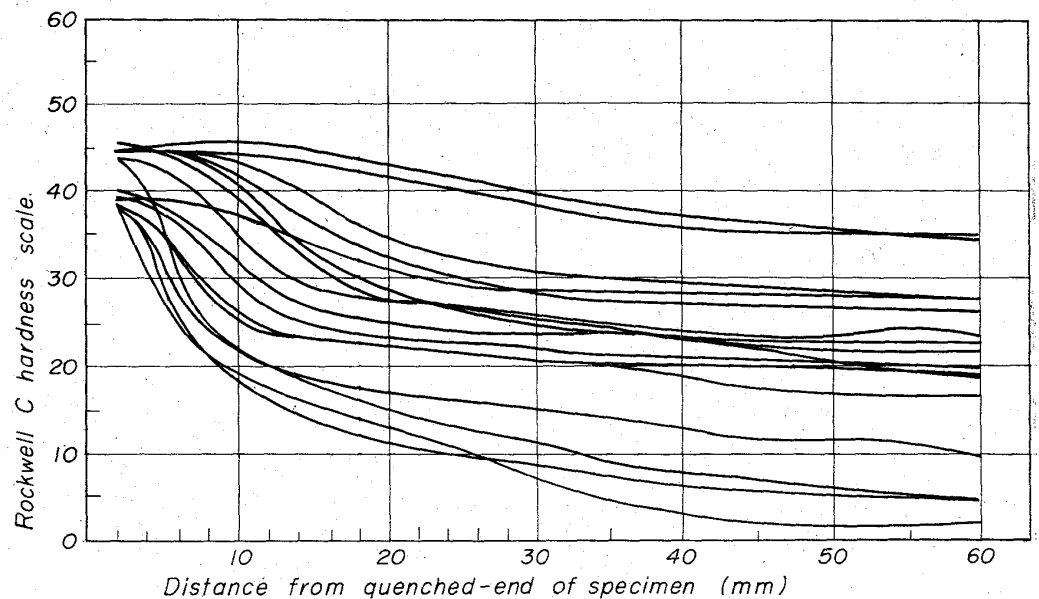


Fig. 2. Result of Jominy end-quench test.

Table 4. Results of regression analysis (Jominy end-quench test).

Distance from quenched-end	Statistical parameter	Alloying element							\bar{p}	$\sqrt{\text{VAR}}$
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu		
2 mm	Partial regression coefficient (a_i) Significance level (S. L.)	80.6 **	-2.0	-0.0	0.09	0.70	0.71	0.82	41.9	0.5
4 mm	a_i S. L.	100.8 **	2.0	2.2 **	2.8 **	4.1 **	6.2 **	1.2	40.1	0.8
8 mm	a_i S. L.	152.9 **	2.8	10.4 **	9.7 **	9.5 **	30.1 **	-0.2	34.7	2.2
12 mm	a_i S. L.	153.7 **	3.4	11.9 **	7.9 **	12.2 **	31.3 **	-0.4	30.6	1.8
16 mm	a_i S. L.	146.6 **	2.5	12.1 **	7.9 **	13.9 **	32.8 **	4.4	28.1	1.7
20 mm	a_i S. L.	130.6 **	4.6	12.3 **	5.7 **	14.7 **	32.2 **	6.0	26.3	1.8
26 mm	a_i S. L.	132.5 **	7.9	13.3 **	6.6 **	15.9 **	31.7 **	6.0	24.4	1.5
60 mm	a_i S. L.	128.1 **	11.1 *	15.6 **	9.0 **	17.0 **	43.0 **	5.5	20.1	1.7

** 99% * 95%

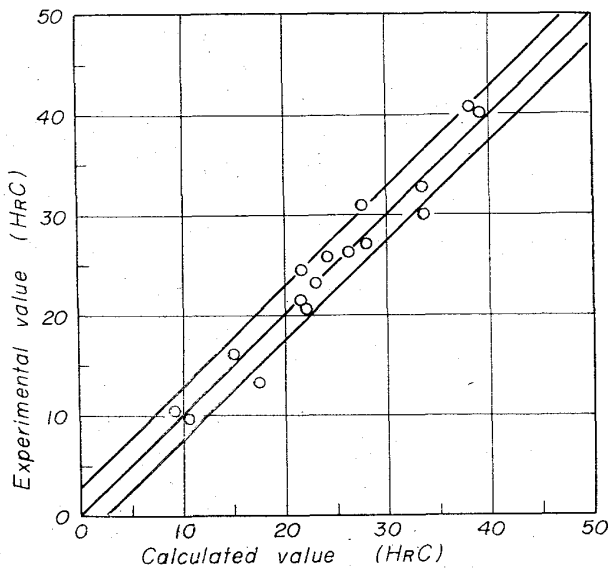


Fig. 3. Calculated versus experimental hardness at 26 mm from quenched-end of Jominy specimen.

示す。

これより、よく知られているように焼入端 (2 mm) の硬度は C 量のみによつてほとんど決定されること、焼入端からの距離が大きくなると漸次、合金元素の効果が大きくなるが、その効果は Mo がもつとも大きく、続いて Cr, Mn さらに Si, Ni, Cu の順であることなど焼入性への合金元素の影響を知ることができる。Fig. 3 に本実験鋼の Jominy 焼入端より 26 mm 位置における硬度の計算値と実測値の関係を示す。従来、合金成分より Jominy 曲線を推定する方法として Field 法, Crafts-Lamont 法⁴⁾など種々の方法が発表されており、これらの方法によつてもかなりよく推定を行なうことができるが、低炭素低合金鋼の範囲においては、本実験結果による場合のほうが、推定の精度はより高いようである。

4. 結 言

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、焼入・焼もどし状態の強度ならびに Jominy 一端焼入性試験における各位置の硬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。また、Jominy 焼入性曲線も低炭素低合金鋼の範囲において、従来法に比してより高い精度をもつて合金成分より推定し得ることがわかつた。

ここで求めた強度ならびに Jominy 焼入性曲線の推定式を用い、さらに各合金元素の焼もどし抵抗性を考慮することによつて、かなり広い板厚範囲におけるこの種溶接性高張力鋼の強度を成分より推定することが可能である。なお、さらに強度の高い領域の鋼に対しては合金元素のより多量の添加ないしは V, B など微量元素の添加が必要となるが、これらを含む場合については別途報告する予定である。

文 献

- 1) 三好, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 1080
- 2) 三好, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 1083
- 3) 村木, 他: 富士製鉄技報, 10 (1961) 3, p. 373
- 4) 大和久: 焼入性, (1956), p. 120, 日刊工業新聞社

(135) 調質型高張力鋼に関する検討

(低合金鋼の諸特性に影響をおよぼす因子について—I)

日本鋼管, 技術研究所

久保田広行・大須賀立美・○田中 淳一
〃 本社

辻本 嘉伸・太田 正矩

Quenched and Tempered Type High Strength Steels.

(On the factors which affect mechanical properties of low alloy steels—I)

Hiroyuki KUBOTA, Tatsumi ŌSUKA,
Junichi TANAKA, Yoshinobu TSUJIMOTO
and Masanori ŌTA.

1. 結 言

鋼の機械的性質に影響をおよぼす因子については、定性的な観点からはほぼ論じつくされているようであるが、定量的な検討は、因子の種類が非常に多く、また相互に影響しあっているために、かなりの研究がなされているにもかかわらず^{1)~6)}、必ずしも十分であるとはいいがたい。特に調質鋼においては、熱処理の影響が加わるので、一層複雑になつてくる。本報では、調質鋼の機械的性質に影響をおよぼす因子を定量的に把握する目的で、電子計算機を用いた重回帰分析によつて、調質鋼の諸特性値に関する推定の検討をおこなつた結果を報告する。

2. 実験方法

効果的な解析をおこなうために、要因のうちで最も影響が大きいと思われる化学成分と熱処理条件とに注目し、他の因子はできるかぎり一定の水準に固定した。熱処理条件はさらに加熱温度、加熱時間、冷却速度、焼戻温度および時間などの要因にわかれるが、複雑化をさけるために、ここでは焼戻温度だけを変動させ、その他は固定した。これらの化学成分と焼戻温度との効果を一次加算的であると仮定して要因にとり、降伏点、引張強さ、降伏比、伸び、絞り、2 mm V ノッチシャルピー衝撃試験の 0°C に於ける衝撃値、50%脆性破面遷移温度、15 ft-lb 吸収エネルギー遷移温度、溶接熱影響部最硬部の 9 種の機械的性質を特性値とつて重回帰分析をおこなつた。解析用のデータとしては、高周波電気炉によつて溶製した 50 kg キルド鋼塊を 20 mm 厚に鍛造し、熱処理後に実施した各種試験の結果を用いた。熱処理は 920°C に加熱保持後、約 20°C/sec の冷却速度で焼入れをおこない、550°C 以上 700°C 以下の三水準の温度に焼戻した。Table 1 に溶製した供試鋼の化学成分範囲を