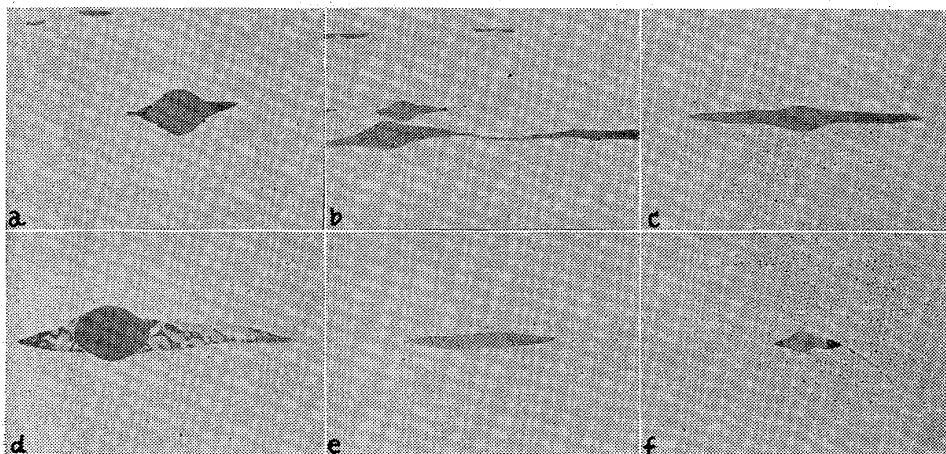


Fig. 3. Variation of cleanliness in rim and core of billets.



a), b), c) Mn-sulfide inclusions in the part of core.  
d), e) Three-phased & one phased inclusions in the part of near core.  
f) Small size inclusions in the part of rim zone.

Photo. 2. Typical nonmetallic inclusion in rimmed steel.

- 2) 加藤, 松田, 徳重: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 462
- 3) 波木, 荒木: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 452
- 4) M. I. バインシュトク, 他: 製鉄技術総覧, 24 (1964) 12, p. 33
- 5) 加藤: 鉄と鋼, 48 (1962) 6, p. 753
- 6) 細田, 森島, 酒井: 鉄と鋼, 46 (1960) 3, p. 329

(120) 熱延帯鋼の機械的性質, 冷間成型性におよぼす合金元素の影響

(冷間成型性高張力鋼板の研究—I)

日新製鋼, 吳製鉄所

岩宮 久・角谷卓爾

入谷喜雄・丸橋茂昭

The Effects of Alloying Elements on the Mechanical Properties and Cold Formabilities of Hot Rolled Steel Sheets.

(High strength steel sheet for cold forming quality—I)

Hisashi IWAMIYA

Takuzi KAKUTANI

Yoshio IRITANI

and Shigeaki MARUHASHI.

1. 緒 言

高張力鋼を使用する主目的は, すぐれた機械的性質により達せられる構造物の重量軽減にあり, このために, これまでは比較的大型の構造物に使用される高張力鋼について研究が行なわれている. すなわち従来の溶接性高張力鋼は厚板として使用される場合が多く, このために要求される機械的性質を満足するほかに溶接性, あるいは低温靱性などが重視されている.

一方最近では, 比較的板厚の薄い分野においても, 従来よりも強度の高い鋼材が要求されることが多くなっているが, この

場合, 厚板用途とは異なり, 工作上必要な曲げ性, あるいはその他の冷間成型性が優秀であることが要求されることが多い. このために従来より実用されている高張力鋼を今問題とする用途に使用しても, 必ずしも満足な結果は得られていない. したがって, この種の高張力鋼板に対しては, これまでとは多少とも違った考慮が払われるべきである. このためにまず強度水準が 50~55 kg/mm<sup>2</sup> 程度の鋼板の機械的性質, 若干の冷間成型性試験値におよぼす最も一般的な合金元素 C, Si, Mn, Cr などの影響を調べた.

2. 実験方法

2.1 試料調整

実験鋼塊 (高周波炉溶解) は 30 kg, 120mm φ × 106 mm φ × 283mm である. 同鋼塊を 55mm × 155mm × l の帯鋼用ピレットに鍛伸し, この実験用ピレットを同寸法の巾, 厚みを有する生産用ピレットに溶接し, 4.5mm

× 150mm × 1 の帯鋼に圧延した。試験材は C, Si, Mn, Cr, Sol, Al 量などの異なる計32種の鋼種で、その化学成分の範囲は C; 0.08~0.19%, Si; 0~0.64%, Mn; 0.80~1.61%, Cr; 0~0.99%, Sol, Al; 0.005~0.06%, insol, Al; 0.0043~0.0152%, その他  $P \leq 0.030\%$ ,  $S \leq 0.016\%$ ,  $Ni \leq 0.05\%$  である。また圧延仕上り温度は 845°~890°C の範囲にある。

## 2.2 各種試験法

試験前試料の前処理は特に行なわずに圧延のままである。

### 2.2.1 引張試験

試片は5号試験片とし、圧延方向に対して直角 (C 方向), 平行 (L 方向) に各3枚の試片を採取し、試験値としてはその平均値をとった。

### 2.2.2 孔拡げ試験

ブランク7寸法は板厚×125mm φ, 初期孔径 15mm φ, 試片表面は黒皮のままである。3枚の試片の平均値を試験値とした。

なお、試験治具としては、先端半径 25mm の丸頭ポンチ、およびコニカルダイス (孔半径 60mm, 肩半径 10mm) を用いた。潤滑油はタービン #140, 成形速度 10mm/min である。

### 2.2.3 突き曲げ試験

ブランク7寸法は 70mm (C 方向) × 120mm × 板厚 であり、ダイス側片面は機械的に研磨した。曲げ方向は C 方向, 角度は 45° である。

試験方法としては、先端半径 0.25~6.0mm の種々のポンチで試片を V 型ダイス (深さ; 70mm, 角度; 45°, 肩半径; 2.5mm) へ突き曲げ、屈曲部に割れの発生しない限界の半径値を求めた。なお、最少半径 0.25mm でも割れの発生しないものは、その後密着曲げを行ない。この場合割れの発生したものについては、限界半径値を便宜的に 0.1mm, 発生しないものは 0mm とした。

## 2.3 試験値の整理

得られた試験値の範囲は、L 方向引張強さ; 45.1~60.4 kg/mm<sup>2</sup>, 同じく C 方向のそれは 44.8~60.7 kg/mm<sup>2</sup>, 降伏点; L 方向; 29.4~38.3 kg/mm<sup>2</sup>, C 方向 28.2~40.3 kg/mm<sup>2</sup>, 伸び; L 方向 26.9~41.0%, C 方向 24.7~37.7%, 突き曲げ値; 0~6.0mm, 孔拡率; 1.50~2.33% である。

これらの特性値に対する C, Si, Mn, Cr あるいは圧延仕上り温度の影響を電子計算機による多要因解析で求めた。

## 3. 実験結果

### 3.1 引張強さに対する合金元素、仕上り温度の影響

L 方向引張強さ (T. S (L)) に対する合金元素などの影響を Fig. 1 に示す。C 方向引張強さに対しては次式のように与えられている。

$$\begin{aligned} T. S(C) (\text{kg/mm}^2) &= 138.44 + 90.97[\% C] + 14.59[\% Si] + 5.12 \\ &\times [\% Mn] + 2.41[\% Cr] + 7.51[\% \text{sol. Al}] \\ &+ 416.29[\% \text{insol. Al}] - 0.13[\text{temp. } ^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

C, Si, Mn, Cr の含有量の増加とともに、T. S (L), T. S (C) を増加させるが、その相対的な効果でみる

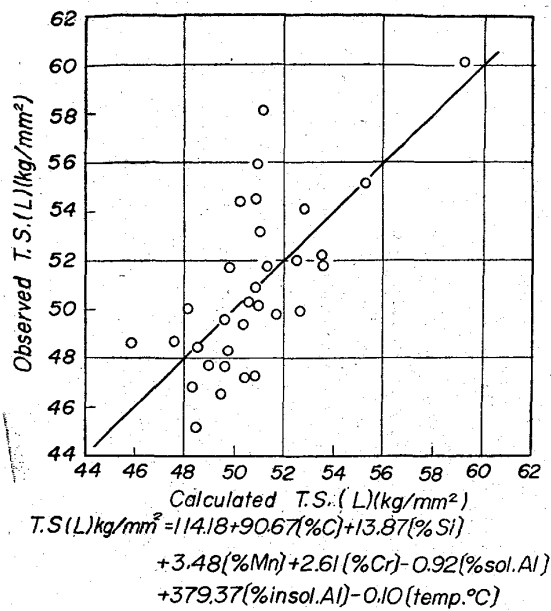


Fig. 1. The relationship between calculated and observed tensile strength.

と、合金元素単位添加量あたり引張強さの増加は C が最大で、次いで Si, Mn, Cr の順序になっている。C の影響に対する Si などの相対的な効果を知るために、たとえば T. S (L) における各元素の係数より等炭素量を求めてみると、Si; 1/7, Mn; 1/26, Cr; 1/35 となる。このうち Si の等炭素量は従来より用いられている値に近いが、Mn, Cr のそれはかなり低くなっている。

sol. Al は T. S (L) に対しては負の効果、T. S (C) に対しては正の効果を与えるが、この現象は、データの精度から考えて統計解析上の問題より生じたものと考えられる。

圧延仕上り温度は高いほど T. S (L), T. S (C) ともに同程度の割合いで低下せしめる。温度差 10°C ではほぼ 1 kg/mm<sup>2</sup> の変動を与えるようであり、合金元素の影響にくらべてもその効果は無視できない。

### 3.2 降伏点におよぼす合金元素、仕上り温度の影響

Fig. 2 には L 方向降伏点 (Y. P (L)) におよぼす合金元素などの影響を示した。同じく C 方向に対しては次のようになる。

$$\begin{aligned} Y. P(C) (\text{kg/mm}^2) &= 116.53 + 20.26[\% C] + 80.27[\% Si] + 1.68 \\ &\times [\% Mn] - 3.67[\% Cr] + 8.10[\% \text{sol. Al}] \\ &+ 203.43[\% \text{insol. Al}] - 0.12[\text{temp. } ^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

C, Si, Mn は、いずれも降伏点を上昇せしめるが、このうち単位添加量あたり最も大きい影響を与える元素は C で、次いで Si, Mn となっている。一方これらの元素に対して Cr は、添加量の増大とともに Y. P (L), Y. P (C) をともに減少させる。Cr の添加によつて、ある場合には強度が低下する現象については、これまでも報告された例があるが<sup>2)</sup>、その現象の本質についてはまだ十分解明されていない。

sol. Al, などの影響については、同じくデータの取り扱い上生じた問題があるものと考えられる。

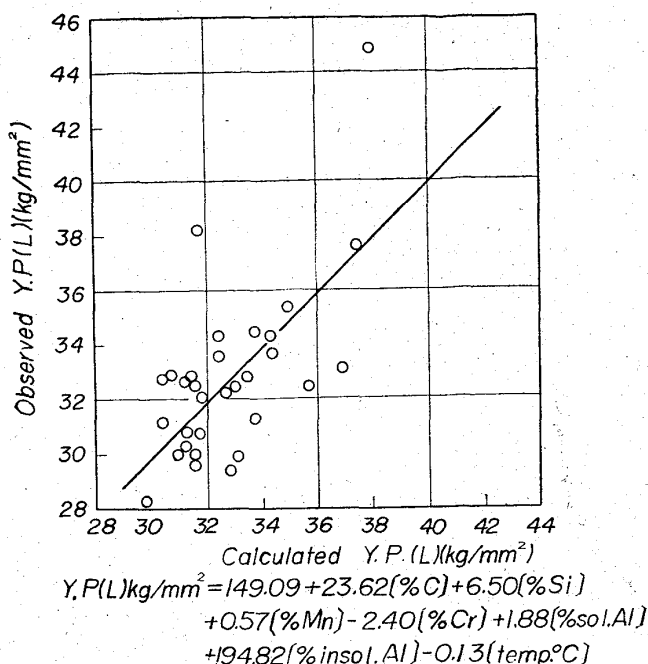


Fig. 2. The relationship between calculated and observed yield point.

圧延仕上り温度の影響は、引張強サに対する場合とほぼ同じ程度である。

3.3 伸びにおよぼす合金元素、および仕上り温度の影響

L方向伸び (El(L)) に対する合金元素、仕上り温度の影響を Fig.3 に示す。C方向伸びに対する各要因の一次回帰式は次のように求められた。

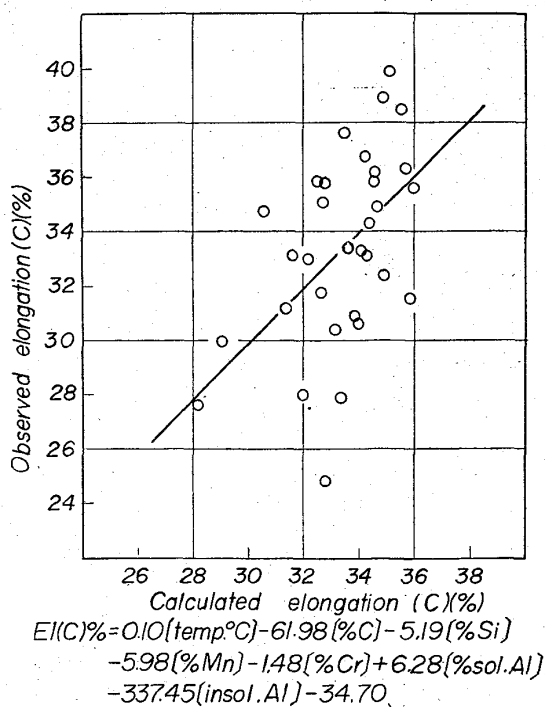


Fig. 3. The relationship between calculated and observed elongation.

$$El(C)\% = 0.10[temp. ^{\circ}C] - 34.70 - 61.98[\%C] - 5.19[\%Si] - 5.98[\%Mn] - 1.48 \times [\%Cr] + 6.28[\%sol.Al] - 337.45 [in sol. Al]$$

これらの結果によると C, Si, Mn, Cr はいずれも伸びを低下させるが、L, C方向の伸び低下に対してそれぞれの元素で特徴が認められる。すなわち C, Mn はL方向よりもC方向伸びの減少に大きく影響し、これに対して Si, Cr はむしろ方向伸びの低下により大きい影響を与えている。このような各元素の効果は、鋼板における伸びの異方性に関連して重要である。

今問題とする冷間成型性高張力鋼の主体元素として望ましいものは、その添加による単位引張強サの増加に伴う伸び (特にC方向伸び) 低下が少ないものであるといえる。これを知るために、各元素について、引張強サ 1 kg/mm<sup>2</sup> 増加あたりの C方向伸び低下を計算してみると、C; -0.68%, Si; -0.36%, Mn; -1.5%, Cr; -0.56%となる。すなわち C, Mnよりは、むしろ Si, Cr を主体元素にした鋼種が良いものと思われる。

3.4 曲げ性におよぼす合金元素仕上り温度の影響

突き曲げ限界半径値 (R<sub>L</sub>) におよぼす合金元素、仕上り温度の影響を Fig. 4 に示した。この解析結果によると、C, Si, Mn は、いずれも曲げ性を低下せしめるが、このうちCの影響が最も大きく、Si, Mnの効果は比較的少ない。またこのほかに曲げ性を大きく低下せしめる元素として Al が検出されているが、この結果が単なる解析上の問題から生じたものであるか、あるいは物理冶金学的に本質的な意味があるかどうかについてはさらに検討を要するものと考えられる。

Cr はこれらの元素とは異なり、むしろ曲げ性を向上させる効果があるようであるが、これは Crの添加によつて降伏点が低下する。あるいはC方向伸びの低下が比較的少ないという現象と関連があるように思われる。

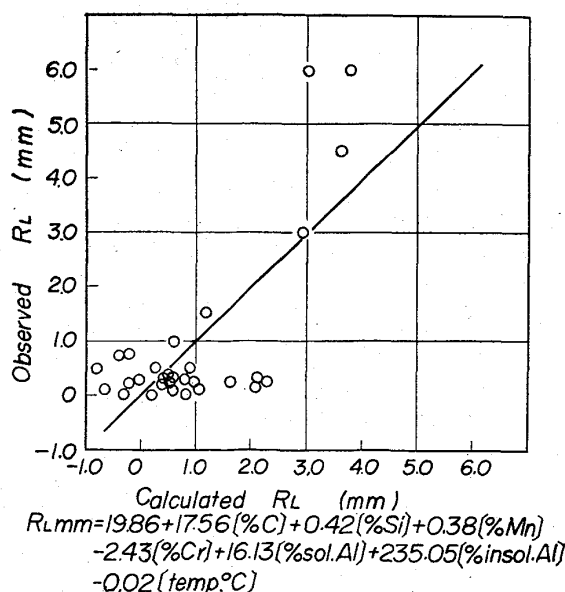


Fig. 4. The relationship between calculated and observed limiting inner radius of bending.

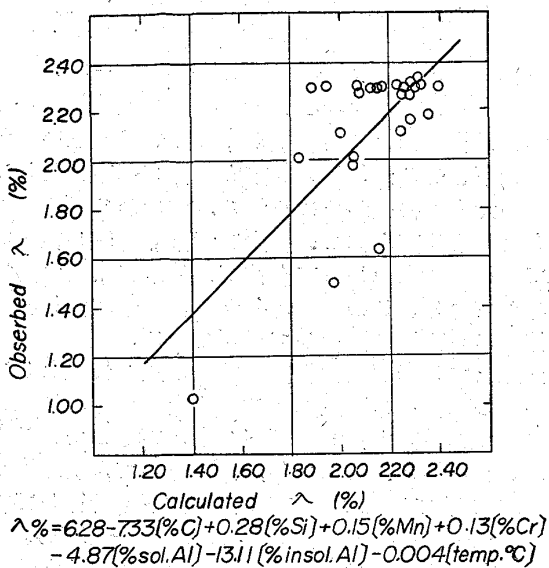


Fig. 5. The relationship between calculated and observed % increase in diameter of the hole in the hole-expanding test.

前項と同じく、引張強サ  $1 \text{ kg/mm}^2$  増加あたりの曲げ性の劣下、すなわち  $R_L$  の増加を計算すると C;  $0.19 \text{ mm}$ , Si;  $0.03 \text{ mm}$ , Mn;  $0.11 \text{ mm}$ , Cr;  $-0.93 \text{ mm}$  となる。したがって高い強度を有し、曲げ性のすぐれた鋼種とするには Si, Cr を主体元素とした鋼種が適当であるといえる。

#### 3.5 孔拡率におよぼす合金元素および仕上り温度の影響

Fig. 5 には、孔拡率におよぼす合金元素、仕上り温度の影響を示した。C 以外の Si, Mn, Cr は、いずれもその添加によつて孔拡率を若干上昇させるという結果が得られているが、回帰式におけるこれらの元素の係数より考えて、影響はきわめて少ないものと思われる。sol. Al の影響についてはさらに検討が必要である。

圧延仕上り温度は、傾向としては、負の効果を与えているが、回帰式におけるその係数の大きさから考えて、本実験の範囲では、ほとんど影響を与えていないものと推定される。

#### 4. 結 言

フェライトパーライト組織の熱圧延帯鋼の圧延のままにおける機械的性質、冷間成型性試験値におよぼす合金元素、圧延仕上り温度の影響を調べた。その結果、高い強度とともに、良好な冷間成型性を得るには、Si, Cr を主体元素にした鋼種にすべきであると考えられる。

#### 文 献

- 1) 木原, 鈴木: “高張力鋼の溶接” (昭和 37.10) [溶接学会].
- 2) C. A. EDWARD: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 142 (1940), p. 199

## (121) 熱延帯鋼の機械的性質、冷間成型性におよぼす金属組織の影響

(冷間成型性高張力鋼板の研究—II)

日新製鋼, 呉製鉄所

岩間 久・角谷卓爾・入谷喜雄・○丸橋茂昭

The Effects of Microstructures on the Mechanical Properties and Cold Formabilities of Hot Rolled Steel Sheets.

(High strength steel sheet for cold forming quality—II)

Hisashi IWAMIYA, Takuzi KAKUTANI

Yoshio IRITANI and Shigeaki MARUHASHI.

#### 1. 緒 言

前報では、熱延帯鋼の圧延のままの機械的性質、冷間成型性に対する合金元素などの影響を、単に統計的な解析から得られた現象のみについて述べた。これらの結論のうちには、さらに詳細な物理冶金学的な面よりの検討を必要とするものも多いものと考えられる。

このために、同一試料を用い、まず焼準状態における 2, 3 の特性と合金元素の関係を求め、これらの結果が合金元素による金属組織上の変化を通していかに説明されるかについて検討した。

#### 2. 実験方法

調査に用いた帯鋼試料の化学成分、あるいはこれらについての試料調整法などは前報と同じである。ただし本調査に用いた帯鋼試料は、圧延後すべて  $930^\circ\text{C} \times 1/2\text{hr}$  → A. C の処理を与えた。

なお、機械的性質、および冷間成型性試験値と金属組織との関係を知るために、以下の測定を行なった。

##### 2.1 パーライト面積率の測定

点算法によつた。なお、本調査に用いた焼準材では、単純なパーライト以外に、中間段階組織的なフェライト+炭化物の混合組織が存在するものがあるので、これらは区別して測定した。ただし以下の解析に用いたパーライト面積率は、便宜上、両者の面積率の合計を用いた。正常なパーライトの面積率の測定には 10 視野、その他のフェライト+炭化物混合組織に対しては 30 視野を測定した。

##### 2.2 フェライト微小硬度

マイクロビッカース (荷重 15 g) を用い原則として異なる 5 カ所のマトリックスの測定値を平均して用いた。

##### 2.3 フェライトパーライト帯状組織

倍率 100 倍の下で、同組織の程度を 5 クラスに分類し 1~5 の番号を測定値とした。(番号の高いほど帯状組織が著しいように分類した。)

##### 2.4 フェライト粒度、清浄度

JIS 規定の測定法による。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 測定値の範囲

正常パーライト面積率  $1.2 \sim 33.6\%$ , フェライト+炭化物混合組織  $0 \sim 16.2\%$ , フェライト微小硬度 164~236, 帯状組織 1~5, フェライト粒度  $7.40 \sim 9.79$ , 清浄度  $0.026 \sim 0.087$  である。

また L 方向引張強サ (T. S (L))  $44.1 \sim 65.7 \text{ kg/}$