

## (126) Cu-Ti-P 系低合金鋼の材質について

(耐候性高張力鋼の研究—I)

八幡製鉄所技術研究所

大竹 正・財前 孝・西 正

### Properties of the Low-Alloy Steel Containing Cu, Ti and P.

(Study on atmospheric-corrosion-resistant high-tensile steel—I)

Tadashi Otake, Takashi Zaizen  
and Tadashi Nishi.

#### I. 緒 言

最近、構造物の大型化、輸送の高能率化、溶接技術の進歩などによりいわゆる耐候性高張力鋼に対する需要が高まりつつある。この種の鋼としては欧米には HSB55, ST52, Cor-Ten などがあるがわが国においてはその開発が非常に遅れている。われわれはまず 50~60 kg/mm<sup>2</sup> の引張強さと、耐候性、熔接性、加工性を兼備ししかもコストの低い鋼種の試作試験を重ねてきたが、上記の各性質を満足する Cu-Ti-P 系低合金鋼帯鋼板の製造に成功したので、この性質の概要を紹介し 2, 3 の考察を試みた。

#### II. 試 験 方 法

まず、適当なる成分系統を選定するために、Cu を基本として含有し、これに P, Ni, Cr, Ti, Mo, V など、をいろいろ組み合わせた多数の成分系を、250 kg 弧光電気炉または 100 kg 高周波熔解炉で熔製し 200 kg または 100 kg 押湯付鋼塊に鑄造、鍛造により 50~70 mm 厚の鋼片とし、熱間加工性試験材を一部採取後板厚 3.2 mm に熱間圧延した。熱延板の一部はさらに四段ロールにより冷延、焼鈍を行ない薄手冷延板の製造の可能性を検討した。これら熱延材および冷延焼鈍材より得た試料について、熱間加工性、機械的性質、耐候性、熔接性、冷間加工性などの諸試験を行なった。

上記の予備試験の結果、Ni を含まない成分系として、Cu-Ti-P 系が最も適当なる特性を有するものの一つであることを確認した。本系についてさらに適正成分範囲を決定するため溶製試験を重ね、最終的に 20 t 電気炉出鋼によるストリップ熱延コイルおよび同冷延焼鈍コイ

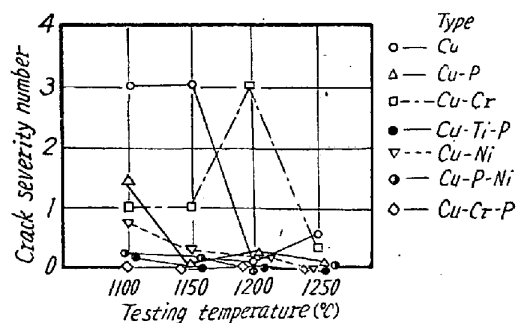


Fig. 1. Results of hot-cracking property test by impact-bend method.

ルを試作し材質的特性および作業性の確性を行なった。

#### III. 試 験 結 果

##### 1. 化学成分

確性試験を終了し、成分範囲を Table 1 に示すように決定した。なお Table 1 に本報の供試材化学成分を併示する。

##### 2. 熱間加工性試験

含銅に基づく熱間加工時のひび割れ発生が懸念されたのであらかじめ熱間折曲げ試験により熱間加工性を調査した。

実験方法：折曲げ試験片 (10×10×80 mm) を所定量の水蒸気 (500~700 cc/h) を混じた実験加熱炉中で所定の加熱を行ない、ただちに炉外に取り出しシャルピー試験機にて衝撃折曲げを行なう。つぎに折曲げ面に発生した疵を別に定めた疵の深さに比例した評点により評価する。

実験結果：Fig. 1 に 2, 3 の試作鋼について 1100~1250°C の各温度で水蒸気吹込量 500 cc/h で 2 時間加熱した場合のひび割れ点を示す。この Cu-Ti-P 系低合金鋼は Ni を含有しないにもかかわらず、含 Ni 鋼と同様にひび割れ発生危険性が低い。この点に関してはその後丸棒 (13~16 mmφ) 圧延を行ない嚙出部の酸洗試験を行ない疵の発生が皆無であることにより再確認した。

熱間変形能は熱間引張試験および熱間振り試験により類推した (図面省略)。

##### 3. 機械的性質

Table 2 に熱延、冷延焼鈍両帯鋼板および切板圧延中板のおもなる機械的性質を示す。当鋼種の特徴として、作業条件に対し、かなり安定な特性を有し、降伏点 (降

Table 1. Chemical compositions (wt %)

|            | C     | Si    | Mn    | P     | S      | Cu    | Ti    | Sol. Al |
|------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|
| The range  | <0.15 | <0.30 | <0.90 | ≥0.06 | ≤0.040 | ≥0.30 | ≤0.15 | —       |
| An example | 0.10  | 0.23  | 0.65  | 0.09  | 0.011  | 0.31  | 0.08  | 0.01    |

Table 2. Mechanical properties of Cu-Ti-P type low-alloy steel

| Sample        |       | Strip or sheet thickness (mm) | Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Yield ratio (%) | Elongation (50mm) (%) | Fatigue limit (kg/mm <sup>2</sup> ) | Bend test | Erichsen value (mm) | Shear stress (kg/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------|-------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------|------------------------------------|
| Hot-finished  | Strip | 2.0                           | 47.9                                 | 58.0                                   | 82.5            | 28.2                  | 29.0                                | D=T good  | 13.0                | 45.0                               |
|               | Strip | 2.3                           | 46.4                                 | 56.9                                   | 81.5            | 29.8                  | —                                   | D=T good  | 13.6                | 48.6                               |
|               | Sheet | 3.2                           | 47.7                                 | 56.6                                   | 84.2            | 30.2                  | —                                   | D=T good  | 15.1                | —                                  |
|               | Sheet | 4.5                           | 46.0                                 | 56.5                                   | 81.7            | 31.0                  | —                                   | D=T good  | 15.5                | —                                  |
|               | Sheet | 6.0                           | 43.8                                 | 55.0                                   | 79.6            | 32.3                  | —                                   | D=T good  | 17.7                | —                                  |
| Cold-finished | Strip | 1.0                           | 38.1                                 | 51.6                                   | 74.0            | 28.5                  | —                                   | D=O good  | 10.2                | 35.7                               |

Tensile test specimens: JIS Z 2201 type No. 5

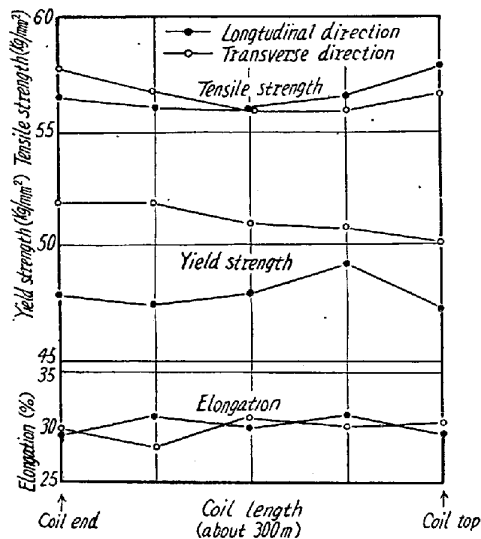
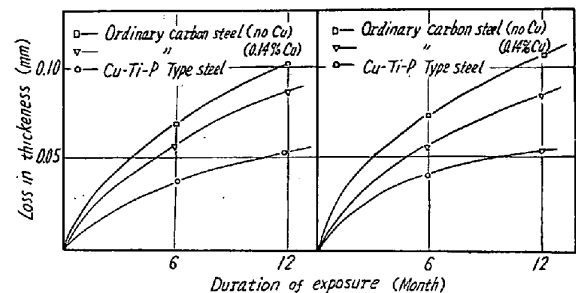


Fig. 2. Variations of mechanical properties along a whole hot-finished coil

伏比)が高いにもかかわらず加工性の良好なこと、帯鋼板においてはコイル全長にわたり機械的性質の変動が小さいこと (Fig. 2 参照) があげられる。

#### 4. 耐候性

実験方法: 熱延板および冷延板より採取した 50×200 mm の試験片を戸畑 (工業地帯) および新田原 (田園地



(Hot-finished sample). (Cold-finished sample)

Fig. 3. Results of atmospheric corrosion tests.

帯) に設置した曝露試験台上に南面して 30° の傾斜にて配置して、一定曝露期間終了ごとに腐食減量を測定した。

実験結果: Fig. 3 および 4 に熱延材および冷延焼鈍材の工業地帯での試験結果を普通炭素鋼に比較して示す。

#### 5. 溶接性

実験方法: 中板材について被覆金属アーク溶接 (溶接棒 S L 55 使用), 潜弧溶接による溶接接手の引張試験および曲げ試験, 最高硬度, バッセルメモリアル型ビード下亀裂試験, フィスコ試験, T 型隅肉溶接試験を実施した。

実験結果: 1 例として突合せ溶接接手の引張, 曲げ, 最高硬度試験結果を Table 3 に示す。これらの試験に

Table 3. Properties of butt joints.

| Sheet thickness (mm) | Welding process         | Tensile test                         |                                        |                 |                       |              | Bend test |      |       | Max. hardness      |            |
|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------|-----------|------|-------|--------------------|------------|
|                      |                         | Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Yield ratio (%) | Elongation (50mm) (%) | Fractured at | D=3T      | D=2T | D=T   | Heat-affected zone | Weld metal |
| 3.2                  | Shielded metal-arc weld | 48.5                                 | 58.3                                   | 83.2            | 28.2                  | Weld metal   | Good      | Good | Good  | 216                | 192        |
|                      | Submerged-melt weld     | 47.7                                 | 59.6                                   | 80.0            | 23.0                  | "            | "         | "    | Crack | —                  | —          |
| 4.5                  | Shielded metal-arc weld | 49.1                                 | 59.7                                   | 82.2            | 26.0                  | "            | "         | "    | Good  | 214                | 183        |
|                      | Submerged-melt weld     | 49.7                                 | 62.1                                   | 80.0            | 27.0                  | "            | "         | "    | Crack | —                  | —          |
| 6.0                  | Shielded metal-arc weld | 49.7                                 | 58.4                                   | 85.1            | 28.4                  | "            | "         | "    | Good  | 210                | 202        |
|                      | Submerged-melt weld     | 46.0                                 | 58.4                                   | 78.7            | 25.0                  | "            | "         | "    | Crack | —                  | —          |

より被覆金属アーク溶接，潜弧溶接，スポット，シーム溶接，フラッシュバット，アップセット溶接，ガス溶接などにより満足な溶接が容易であることが明らかとなった。

#### 6. 冷間加工性

各種冷間成形，プレス，深絞り試験の結果，冷間加工性はほぼ SS41 材と大差ない。ただしスプリングバックを若干大きく見込む必要がある。

#### IV. 考 察

Cu-P-Ti 系低合金鋼で Ti は降伏比の増大に有効に作用する。その機構は目下検討中であるが，熱延材の分析結果 Ti の存在形態はつぎのように考えられる。

i) 添加 Ti の約 60% が sol. Ti として残り約 40% が insol. Ti として存在する。ii) insol. Ti の内容は Table 4 に示すごとく，その 60% が TiC として存在する。iii) このことから当鋼の C 量の約 10% (0.012%) が Ti により固定されている。

Table 4. Results of analysis of insol. Ti.

|               | Ti as<br>TiC  | Ti as<br>TiN  | Ti as<br>TiS | Ti as<br>TiO <sub>2</sub> | Total Ti<br>as Ti<br>compound |
|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| wt %<br>Ratio | 0.046<br>60.5 | 0.024<br>31.5 | 0.004<br>5.3 | 0.002<br>2.7              | 0.076<br>100.0                |

#### V. 結 言

数次の試作試験の結果，わが国初の耐候性高張力鋼として Table 1 に示す成分範囲の Cu-Ti-P 系合金鋼 (AW50) を完成した。この機械的性質，耐候性，熔接性，加工性試験結果を明らかにし，とくに上記の諸性質に有効に作用していると考えられる Ti の効果を示性分析結果および降伏比との関連において紹介した。

#### 文 献

- 1) 大竹，石崎，江口：日本金属学会誌，21(1957)，No. 9，p. 536；No. 11，p. 640；22(1958)，No. 12，p. 640

## (127) 鋼破面の電子顕微鏡的研究

(その 2)

(軟鋼の低温脆性に関する研究—V)

富士製鉄広畑製鉄所研究所

○中西 昭一・武政 明雄

### Fractographic Study of Plain Carbon Steel by an Electron Microscope.—Part 2.

(Study of cold brittleness of plain carbon steel—V)

Shōichi Nakanishi and Akio Takemasa

#### I. 緒 言

鋼の標準 V ノッチ衝撃試験結果と，その方向性については，すでに報告したが，その場合の延性，ならびに脆性破面を電子顕微鏡により観察し，前報<sup>1)</sup>の低速引張時における場合と比較検討して，衝撃曲げ破壊の場合の脆性亀裂の発生，ならびに伝播について，推定ができたので報告する。

#### II. 試験方法ならびに結果

セミキルド鋼板より採取せる標準 V ノッチ衝撃試験片を  $-60^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  の各温度において，30 kg-m シャルピー式衝撃試験機で破断後，前回<sup>1)</sup>報告したと同様に二段レプリカ法で，カーボン・レプリカを作製し，検鏡を行なった。この場合，Cr shadowing はノッチ側より行なった。

高温度側においては，ティッパー試験片破面と同様に，結晶粒界において，亀裂が進行し，破断が完了している。この場合，Photo. 1 に見られるように，ノッチ側においては見られない粒内迂りが圧縮側で観察された。この点引張応力のみが作用しているティッパー試験片と，いささか異なる点である。

衝撃温度が下つて，剪断破面率が，約 50% を示す温度になると，粒界迂りは，かなり阻止され，Photo. 2 に見られるような，粒内における迂りが見られるように



notched side

impact side

Photo. 1 Slip band on the impact side of ductility fractured surface in the sample tested at  $+80^{\circ}\text{C}$ .