

Table 1. Mechanical properties of the 1st pinion.

| Treatment                     | Location | Directions | Yield point<br>kg/mm <sup>2</sup> | Tensile strength<br>kg/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>% | Reduction<br>of area<br>% | Impact<br>value<br>(U-notch)<br>kg-m/cm <sup>2</sup> | H <sub>B</sub> |
|-------------------------------|----------|------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------------------------------|----------------|
| After the<br>1st<br>tempering | Journal  | T          | 79.0                              | 96.0                                   | 20.3            | 56.4                      | 11.6                                                 | 266            |
|                               |          | B          | 80.5                              | 96.5                                   | 16.8            | 54.3                      | 8.6                                                  | 277            |
|                               |          | T          | 75.5                              | 92.3                                   | 18.0            | 45.3                      | 5.8                                                  | 277            |
|                               |          | B          | 72.5                              | 90.0                                   | 20.5            | 55.2                      | 8.1                                                  | 269            |
|                               | Body     | T          | 76.0                              | 92.0                                   | 22.3            | 57.2                      | 14.1                                                 | 266            |
|                               |          | B          | 76.2                              | 92.8                                   | 21.2            | 53.7                      | 12.2                                                 | 262            |
| After the<br>2nd<br>tempering | Journal  | T          | 68.5                              | 85.2                                   | 23.5            | 65.8                      | 20.5                                                 | 246            |
|                               |          | B          | 68.8                              | 86.6                                   | 23.5            | 64.4                      | 16.0                                                 | —              |
|                               |          | T          | 70.0                              | 85.5                                   | 18.7            | 50.0                      | 10.4                                                 | 241            |
|                               |          | B          | 66.5                              | 83.0                                   | 23.0            | 58.7                      | 16.5                                                 | 231            |
|                               | Body     | T          | 65.5                              | 86.3                                   | 22.7            | 57.0                      | 15.9                                                 | 237            |
|                               |          | B          | 69.2                              | 86.0                                   | 23.1            | 58.5                      | 17.8                                                 | 240            |

Table 2. Result of endurance test.

| Name                | Materials    | Specimens    | Tensile strength<br>kg/mm <sup>2</sup><br>$\sigma_B$ | Rotary bending endurance limit                |                                                 | $\frac{\sigma_W'}{\sigma_B}$ | $\frac{\sigma_{KW}'}{\sigma_B}$ | $\frac{\sigma_W'}{\sigma_{KW}'}$ |
|---------------------|--------------|--------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                     |              |              |                                                      | Polished<br>kg/mm <sup>2</sup><br>$\sigma_W'$ | Notched<br>kg/mm <sup>2</sup><br>$\sigma_{KW}'$ |                              |                                 |                                  |
| The 2nd pinion      | 3%Ni-Cr-Mo-V | Transverse   | 95.2                                                 | 42.5                                          | 25.5                                            | 0.447                        | 0.268                           | 1.67                             |
| "                   | 2%Ni-Cr-Mo   | "            | 84.3                                                 | 36.7                                          | 20.6                                            | 0.435                        | 0.244                           | 1.78                             |
| The 1st pinion      | 3%Cr-Mo      | "            | 85.0                                                 | 39.5                                          | 23.5                                            | 0.465                        | 0.276                           | 1.68                             |
| H. P. Turbine rotor | "            | Longitudinal | 75.2                                                 | 36.2                                          | —                                               | 0.467                        | —                               | —                                |
| L. P. Turbine rotor | "            | "            | 80.0                                                 | 38.5                                          | —                                               | 0.481                        | —                               | —                                |

## IV. 結 言

3% Cr-Mo 鋼の歯車材への適用について記して来たが、本試験により歯車材として優れた性質を持つことが明らかになった。この鋼種は前回の報告で焼入性がすぐれ、質量効果が小さく、高い靱性を持った高級構造用鋼としてすぐれた鋼であることを報告した。本試験においては、さらに高硬度で強靱性を得るとともに疲れ強さが高

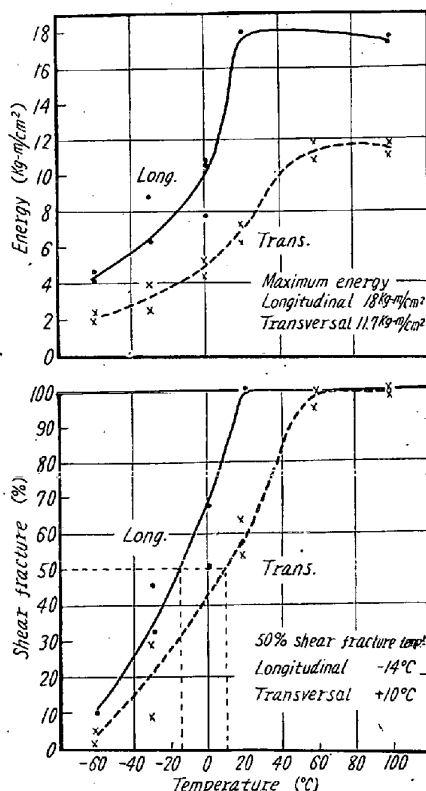


Fig. 3. Transition point curve of pinions.

く、切欠に対する感受性の低い材料であることを知った。また横方向の強さ、降伏比、靱性が高く、遷移温度が低温側である。

これらの結果から、歯部の硬さが高いにもかかわらず脆性が小さく、従って歯の折損を防ぐのに有効であり、設計上有利に作用すると考えられ、従来使用されている Ni 系のピニオンと同様に用いることができる。

## (133) 輸入大型発電機用軸材の評価

日本製鋼所室蘭製作所

阪部喜代三・〇本間 亮介

## Evaluation of the Imported Heavy Shaft Forgings for Turbo-Generator.

Kiyozō Sakabe and Ryōsuke Homma.

## I. 結 言

発電機用軸材の品質に対する要求は、最近の単機容量の増大とともに益々高度化しており、われわれ粗材メーカーとしてもこれに応ずるべく不断の努力を重ねている

が、一方外国製軸材も輸入されており、それらの若干について種々調査する機会が得られた。以下にそれらの調査結果にもとずき、輸入軸材の品質の評価を当社製軸材との比較において行つてみたい。

## II. 調 査 軸 材

調査せる軸材は Table 1 に示す如く、米国製 7 本、独逸製 2 本、材質は Ni-Mo-V 鋼および Cr-Mo-V 鋼の 2 種でいづれも G. E. および Westinghouse 規格のものである。これらについて、超音波探傷、硫貼字のほか軸材胴部の表面から 130mm 附近までの試材について分析、機械的性質、顕微鏡組織などの調査を行なつた。

Table 1 に示す軸材は shaft No.1 を除いてすべて 1958~1959 年製である。したがって比較する当社製の軸材も同年度製のものを対象とする。

## III. 調 査 結 果

化学成分: Table 2 に化学成分、サンド分析結果およ

び機械的性質を示す。同表に比較のため当社製軸材の実績値も示した。化学成分では shaft No. 1 および 2 を除いて P, S が若干低目となつているほか C 量の低い点が特に注目される。サンド分析 (温硫酸法) の結果では shaft No.1 および 9 を除いて概して全サンド量が少なく、またサンド組成では各社それぞれの傾向があり、製鋼条件の特徴がうかがわれる。

偏析: 硫貼字によれば、胴部横断面の輪状ゴーストの分布は各社共同様である。代表例として Cr-Mo-V 鋼について shaft No.1 および当社製のものを Fig. 1 に示す。軸部は軸状ゴーストが内部に押込まれているもの、あるいは切削面に露出しているものなど各社とも一貫性がない。ゴーストを内部に押込む場合には鍛造比の増加により介在物が細長く伸され、いわゆる砂疵となる恐れがあり、一方表面に露出する場合にはゴースト部に伴う欠陥の問題があり、両者のいずれを良とするかは—

Table 1. Imported shaft forgings investigated.

| Shaft No. | Manufacturers | Capacity            | Alloy type | Dimension (mm) |             |              | Weight (t.) |
|-----------|---------------|---------------------|------------|----------------|-------------|--------------|-------------|
|           |               |                     |            | Body dia.      | Body length | Total length |             |
| 1         | U. S. A.—A    | 66MW H. P. turbine  | Cr-Mo-V    | 740            | 2,320       | 4,600        | 9.5         |
| 2         | "             | 66MW L. P. turbine  | Ni-Mo-V    | 1,120          | —           | 3,200        | 9.5         |
| 3         | "             | 125MW Generator     | "          | 1,022          | 5,490       | 10,114       | 43.0        |
| 4         | "             | 175MW H. P. turbine | Cr-Mo-V    | 886            | 1,880       | 4,837        | 12.0        |
| 5         | "             | 175MW L. P. turbine | Ni-Mo-V    | 1,357          | 2,391       | 4,910        | 28.0        |
| 6         | U. S. A.—B    | 156MW Generator     | "          | 940            | 2,950       | 4,248        | 29.5        |
| 7         | "             | 175MW Generator     | "          | 1,110          | 6,200       | 10,735       | 48.0        |
| 8         | Germany       | 125MW H. P. turbine | Cr-Mo-V    | 1,127          | 3,724       | 6,497        | 15.0        |
| 9         | "             | 125MW L.p. turbine  | Ni-Mo-V    | 1,355          | 2,076       | 3,975        | 23.0        |

Table 2. Chemical composition, oxide content and mechanical properties.

| Shaft No.                     | Chemical composition (%) |      |      |       |       |      |      |      |      | Oxide undissolved in dilute H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                      |         |         |                                    | Mechanical properties                        |                                        |                |                       |                              |
|-------------------------------|--------------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------------------------------------------------------------|----------------------|---------|---------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------|
|                               | C                        | Si   | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Mo   | V    | Total (ppm)                                                | SiO <sub>2</sub> (%) | FeO (%) | MnO (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Yield strength (0.02%) (kg/mm <sup>2</sup> ) | Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | Reduction of area (%) | Transition temperature (°C)† |
|                               |                          |      |      |       |       |      |      |      |      |                                                            |                      |         |         |                                    |                                              |                                        |                |                       |                              |
| 1                             | 0.33                     | 0.29 | 0.84 | 0.029 | 0.030 | 0.17 | 1.11 | 1.18 | 0.21 | 126                                                        | 70.6                 | 0.8     | 20.6    | 7.1                                | 71.7                                         | 93.2                                   | 12.0           | 27.2                  | 160                          |
| 2                             | 0.27                     | 0.17 | 0.58 | 0.029 | 0.030 | 2.77 | —    | 0.53 | 0.07 | —                                                          | —                    | —       | —       | —                                  | 60.5                                         | 74.2                                   | 18.5           | 36.3                  | —                            |
| 3                             | 0.22                     | 0.17 | 0.57 | 0.010 | 0.012 | 2.87 | 0.08 | 0.31 | 0.06 | 84                                                         | 63.7                 | 3.0     | 20.8    | 10.7                               | 46.1                                         | 67.3                                   | 21.2           | 44.1                  | 25                           |
| 4                             | 0.31                     | 0.26 | 0.82 | 0.012 | 0.010 | 0.21 | 1.01 | 1.26 | 0.20 | 80                                                         | 55.0                 | 1.3     | 35.0    | 7.5                                | 63.3                                         | 83.4                                   | 18.2           | 42.4                  | 110                          |
| 5                             | 0.24                     | 0.17 | 0.60 | 0.010 | 0.008 | 2.96 | 0.13 | 0.51 | 0.03 | 91                                                         | 59.3                 | 1.1     | 28.6    | 9.9                                | 61.5                                         | 77.3                                   | 21.5           | 49.0                  | 68                           |
| 6                             | 0.23                     | 0.21 | 0.51 | 0.013 | 0.015 | 2.65 | 0.46 | 0.35 | 0.09 | —                                                          | —                    | —       | —       | —                                  | —                                            | 78.8                                   | 21.0           | 51.8                  | 60                           |
| 7                             | 0.26                     | 0.27 | 0.49 | 0.004 | 0.006 | 2.77 | 0.07 | 0.54 | 0.03 | 38                                                         | 26.3                 | 2.6     | tr      | 60.5                               | 54.3                                         | 70.3                                   | 24.0           | 56.7                  | 60                           |
| 8                             | 0.25                     | 0.32 | 0.40 | 0.019 | 0.018 | 0.08 | 1.12 | 1.16 | 0.24 | 81                                                         | 54.3                 | 1.2     | 30.9    | 13.6                               | 61.5                                         | 79.7                                   | 16.6           | 41.2                  | 112                          |
| 9                             | 0.25                     | 0.31 | 0.48 | 0.016 | 0.009 | 2.28 | 0.28 | 0.51 | 0.06 | 152                                                        | 53.3                 | 0.7     | 10.5    | 34.2                               | 48.4                                         | 71.5                                   | 24.7           | 50.1                  | 84                           |
| J. S. W.*<br>Ni-Mo-V<br>Steel | 0.25                     | 0.28 | 0.50 | 0.013 | 0.015 | 2.84 | 0.08 | 0.30 | 0.07 | 100                                                        | 70                   | 1       | 13      | 5                                  | —                                            | —                                      | —              | —                     | —                            |
|                               | 0.31                     | 0.32 | 0.53 | 0.018 | 0.020 | 3.08 | 0.11 | 0.45 | 0.09 | —                                                          | —                    | —       | —       | —                                  | —                                            | —                                      | —              | —                     | —                            |
| J. S. W.<br>Cr-Mo-V<br>Steel  | 0.29                     | 0.27 | 0.77 | 0.013 | 0.016 | 0.30 | 0.90 | 1.05 | 0.26 | 140                                                        | 80                   | 3       | 17      | 10                                 | —                                            | —                                      | —              | —                     | —                            |
|                               | 0.35                     | 0.34 | 0.87 | 0.019 | 0.024 | 0.50 | 1.00 | 1.13 | 0.30 | —                                                          | —                    | —       | —       | —                                  | —                                            | —                                      | —              | —                     | —                            |

†: The temperature at which the fracture showed 50% Charpy V-notch impact test piece.

\*: Manufactured by Japan Steel Works Ltd.

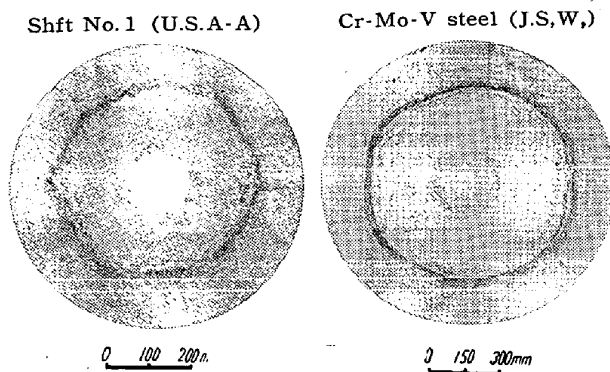


Fig. 1. Sulphur print of the cross section of the body: Cr-Mo-V steel shafts.

概に決められぬところであろう。

機械的性質: Fig. 2 に降伏強さ, 伸び, 絞りおよび遷移温度を引張強さの函数として示した. 同図は Ni-Mo-V 鋼についてのみであるが, 降伏強さ, 伸び, 絞りに関しては, 輸入軸材と当社製間で特に変るところはない. 遷移温度についても shaft No.3 が極端に低値を示しているが傾向としては輸入軸材が特にすぐれているとはいえぬ. 一般に遷移温度の低下には C 量および引張強さを低くし, またフェライト粒を微細化することが有効であるといわれているが, shaft No.3 の場合, 引張強さおよび C 量において遷移温度に対して好条件が与えられていることになる. 米国における発電機軸の破壊事故以来遷移温度の低下が強く要求されているが, 他の機械的性質との関係で, 遷移温度の低下にもおのづから限度があることを充分認識すべきであろう。

顕微鏡組織: Fig. 3 に各社製軸材の顕微鏡組織を示す. いずれも焼戻組織であるが, Cr-Mo-V 鋼があらゐ組織を示しているのはオーステナイト化温度が高いために考えられる. Ni-Mo-V 鋼の組織では shaft No.9 がやや方向性がいちじるしく, shaft No.3 の場合は他に比してフェライトがやや高い. 組織のよろさ, 方向性は大型鍛鋼品の場合, オーステナイト化温度あるいは調質工程にいたるまでの前処理に左右されるものであるが, これらの組織から推定するかぎり, 当社における熱処理法は少なくとも輸入軸材メーカーと同等と見なしうる。

内部性状: 超音波探傷の結果 shaft No.1 には多くの欠陥反射が認められたがその他のものでは欠陥反射はきわめて少なく, 前述のサント分析結果とも併せて, 鋼

塊の健全性の点では当社製のものを幾分しのいでいる. 音波の透過度はいずれも良好であるが, 当社製軸材とほとんど差はない. 透過度は組織のよろさ, あるいは方向性に影響されるが, この点からも組織調査におけると同様の結論が得られる。

#### IV. 総 括

輸入発電機用軸材 9 本について種々調査した. 調査軸材数が少ないため, かならずしも外国製品を代表すると見做なし

得ない所もあろうが, 調査範囲内では, 硫貼字, 機械的性質あるいは顕微鏡組織の点では輸入品が特にすぐれていることはないが, サント分析あるいは超音波探傷結果から, 鋼塊の健全性に関しては外国製軸材が幾分勝っているといえよう. 鋼塊の健全性は鍛鋼品の品質を左右する大きな要因の一つであるが, 現在行なっている真空造塊法ならびにそれに伴う種々の技術的対策によつて近くこの問題も解決されるであろう。

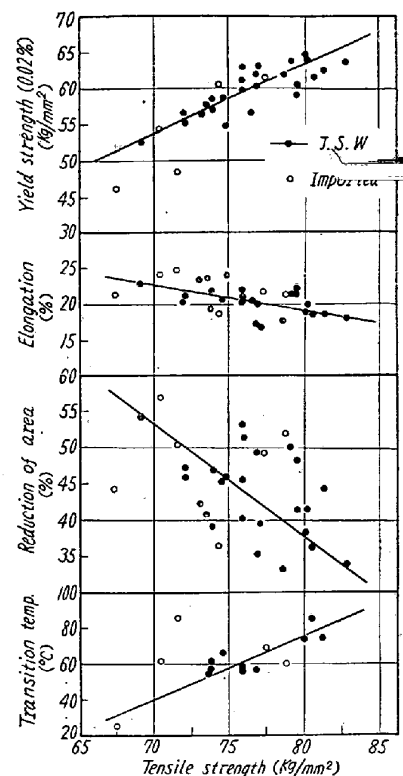


Fig. 2. Mechanical properties: Ni-Mo-V steel shafts.

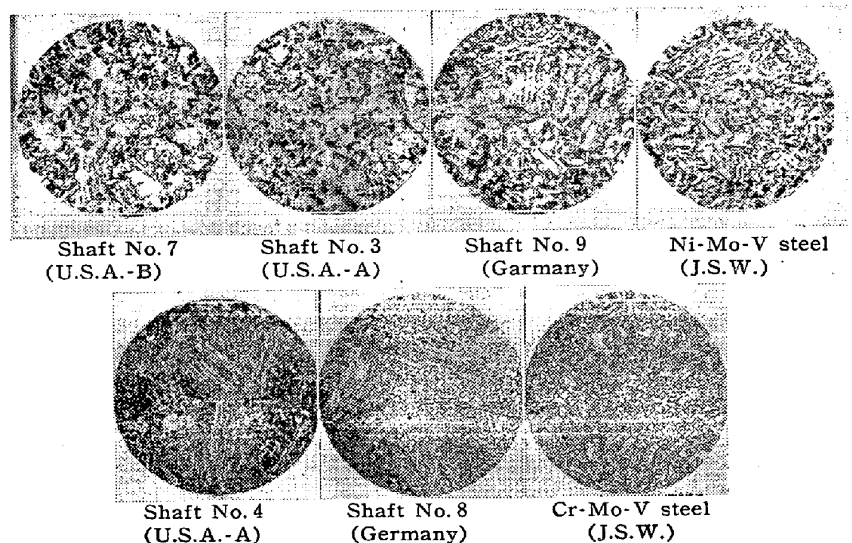


Fig. 3. Microstructure of body (100mm from surface) 3% picral etch  $\times 200$  (2/5)