

(167) 12%Cr鋼の機械的強度および振動減衰率におよぼす合金元素の影響

日立製作所, 日立研究所 ○佐々木 良
Effect of Alloying Elements on Mechanical Strength and Damping Capacity of 12% Cr Steels.

Ryoichi SASAKI.

1. 緒言

蒸気タービンの大容量化に伴ない最終段翼は長大化の傾向をたどっている。翼の長大化とともに遠心力が大きくなり、高い引張強さを有する翼材が必要となってきた。翼材としては引張強さのみならず振動減衰率 δ が大きく、衝撃値もある水準以上必要である。12Cr 鋼に Mo, V あるいは Mo, V, W を含む鋼は高い引張強さを容易に得ることができるので、最終段翼にも用いられているが、普通の 12Cr 鋼にくらべ δ は小さい。 δ が普通の 12Cr 鋼に匹敵し、しかも高い引張強さを有する鋼種を見出すことを目標に、12Cr 鋼の δ および機械的強度におよぼす各種元素の影響を調べた。

既報¹⁾において 12Cr 鋼の δ におよぼす C と Cr およ

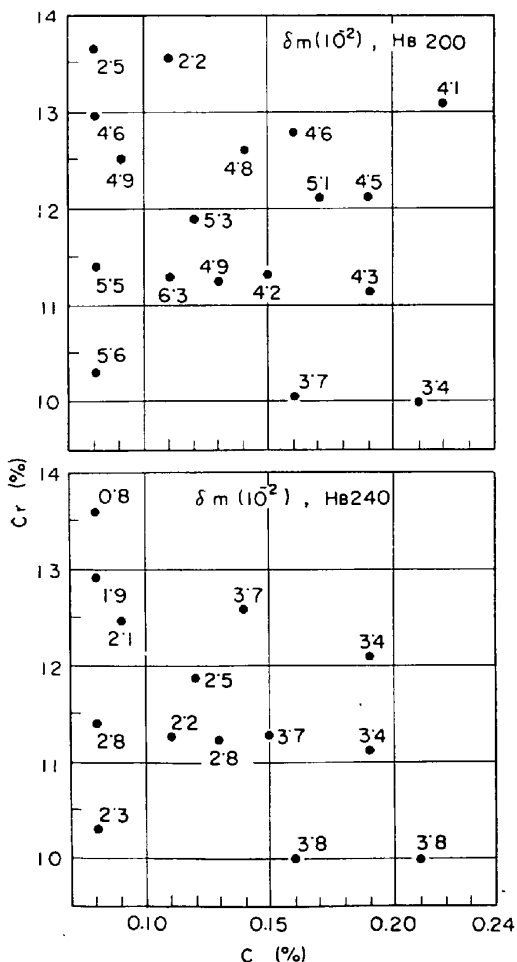


Fig. 1. The effect of C and Cr on the maximum damping capacity δ_m (logarithmic decrement).

び硬さの影響を調べ、Fig. 1 に示すように Cr は 12.5% 付近が δ が高く、またブリネル硬さ H_B 200 に調質した場合は低炭素のほうが、 H_B 240 に調質した場合は高炭素のほうが δ が大きいことを明かにした。したがって高い引張強さが得られるように調質する場合は、より高炭素側に δ の大きい範囲が存在すると予想されたので、まず C から始まり Ni, Co, Mn, Mo, V, W などの影響を求めた。

2. 試料および実験

160 kVA 高周波溶解炉で、12Cr 鋼をベースとして 40~80 kg 溶解し、17 kg 鋼塊に分鑄し、分鑄の過程で C, Ni, Cu, Co, Mn, Mo, V, W などを添加し 26 種の試料を溶製した。15~20 mm 角に鍛伸し、1000°C × 1 hr 加熱油焼入後、各試料に適した温度範囲で 4 hr 焼戻し空冷した。これから引張、衝撃および振動減衰率測定試片を採取した。振動減衰率の測定は既報の振り自由振動の減衰測定により歪振幅と δ との関係性を求めた。一応歪振幅 $10 \sim 18 \times 10^{-4}$ の平均減衰率で試料相互の比較を行なうこととした。

3. 実験結果

3.1 C および Ni の影響

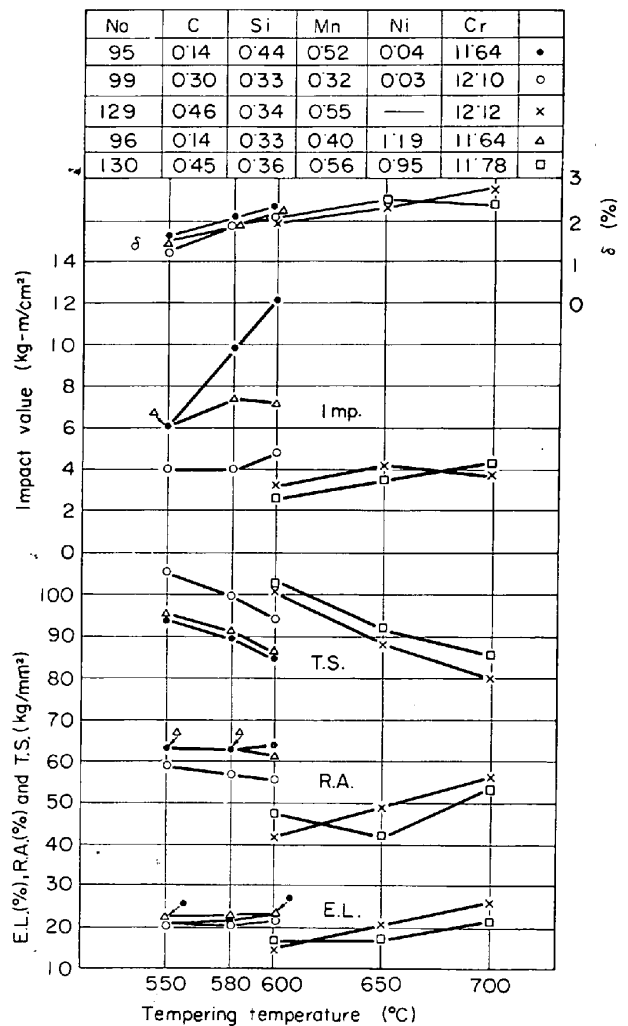


Fig. 2. The effect of C on the mechanical strength and δ .

| No | C | Si | Mn | Ni | Cr | |
|-----|------|------|------|------|-------|---------|
| 95 | 0.14 | 0.44 | 0.52 | 0.04 | 11.64 | Left ● |
| 96 | 0.14 | 0.33 | 0.40 | 1.19 | 11.64 | ○ |
| 97 | 0.14 | 0.22 | 0.35 | 2.21 | 11.64 | × |
| 98 | 0.14 | 0.22 | 0.47 | 4.31 | 11.19 | △ |
| 99 | 0.30 | 0.33 | 0.32 | 0.03 | 12.10 | Right ● |
| 100 | 0.29 | 0.27 | 0.46 | 1.10 | 12.10 | ○ |
| 101 | 0.31 | 0.24 | 0.47 | 2.54 | 12.01 | × |
| 102 | 0.29 | 0.19 | 0.44 | 3.94 | 11.64 | △ |

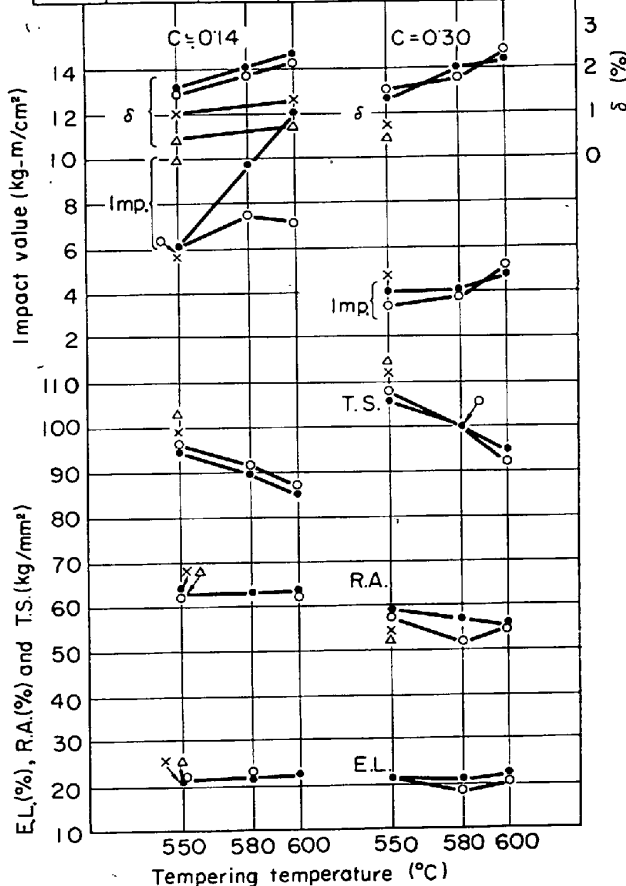


Fig. 3. The effect of Ni on the mechanical strength and δ .

Fig. 2 は引張強さ、衝撃値、 δ におよぼす C および焼戻温度の影響を示す。C 0.14% の場合焼戻温度を低くすれば引張強さは高くなるが、 δ は小さくなる。600°C 焼戻しでは δ が 2.2~2.3%、衝撃値が 12 kg-m/cm²、引張強さ 85 kg/mm² である。C を増すと予想どおり、引張強さを高く調質し 95 kg/mm² としても δ が 2% 以上を示すが、衝撃値がかなり低下する。

Fig. 3 は Ni および焼戻温度の影響を示す。Ni 1% の添加によりやや引張強さが高くなるが、添加量が 2% 以上になると δ は著しく小さくなり、4%Ni 600°C 焼戻しでは δ は 0.5% にすぎない。焼戻温度を上げると δ はやや大きくなる。

3.2 Co, Cu, Mn の影響

Co, Cu は Ni と類似の効果があり 1% 添加により焼戻し抵抗が増し、引張強さと δ がわずかに高くなる。Mn も同様引張強さと δ をわずかに高めるが靱性を低下させる。

3.3 V と W の影響

| No | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | |
|-----|------|------|------|------|-------|------|---|
| 125 | 0.26 | 0.36 | 0.59 | — | 12.31 | 0.52 | ● |
| 126 | 0.27 | 0.46 | 0.53 | — | 11.79 | 1.11 | ○ |
| 127 | 0.26 | 0.36 | 0.51 | 1.04 | 12.12 | 1.23 | × |
| 128 | 0.27 | 0.31 | 0.46 | — | 12.12 | 2.30 | △ |

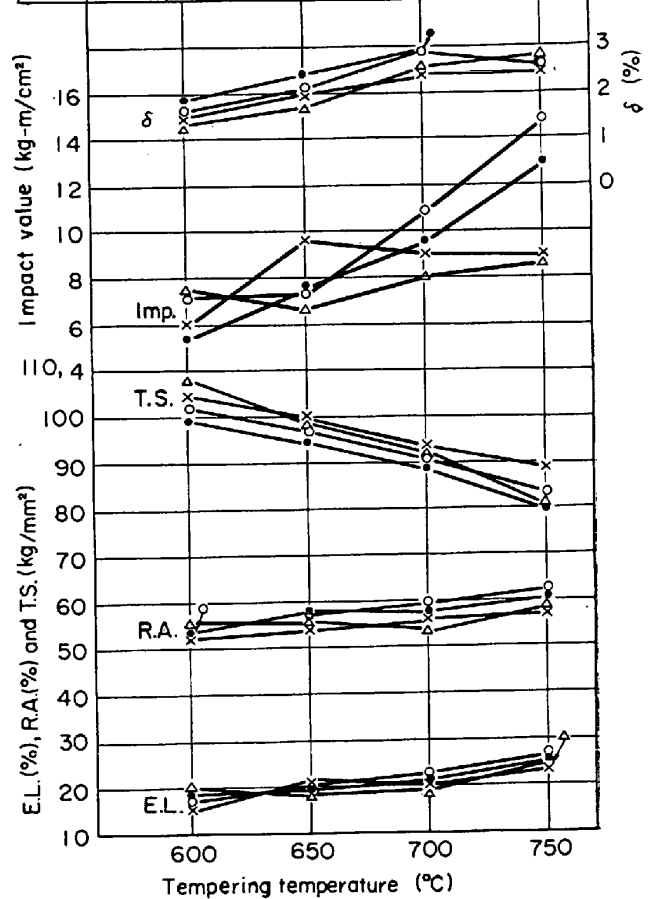


Fig. 4. The effect of Mo on the mechanical strength and δ .

V の添加は 0.4% では引張強さを増すが、0.6% では引張強さを低下させる。W の添加は引張強さを高め、 δ の値も高いが衝撃値は低い。

3.4 Mo および Mo-V 複合添加の影響

Fig. 4 は Mo 添加の影響を示す。図に見るとおり Mo 添加はきわめて有効で、Mo 添加により引張強さは高くなり、 δ をそこなうことなく衝撃値は著しく増大する。

Mo-V を複合添加すると引張強さは著しく高くなるが、衝撃値と δ が著しく小さい。

4. 結果の検討

既報の結果から予測されたとおり、12Cr 系鋼の C を高めることにより高引張強さ、高減衰特性を有する鋼種が得られた。しかし、靱性が低下した。引張強さと δ を下げないで衝撃値を改善するには Mo が有効で、また Mo を加えた場合少量の Ni の共存は焼戻抵抗を高め引張強さが若干高くなり、熱処理の質量効果の軽減にも有効であると考えられる。12CrMo 鋼または 12CrMoNi 鋼が翼材としてすぐれている。

5. 結 言

以上の結果を要約すると次のとおりである。

- (1) Cを高くすれば引張強さと δ は高くなり、衝撃値は低下する。
- (2) Niは1%添加では引張強さと δ の改善に若干の効果があるが、2%以上では δ が著しく低下する。Co, Cuも1%添加ではNiと類似の効果を持つ。
- (3) Moの添加はきわめて有効で、1%程度の添加で、引張強さ、衝撃値は十分高く、しかも δ も大きい。
- (4) Mnは3%までの添加は引張強さと δ を若干改善するが、衝撃値を低下させる。
- (5) Vの添加は引張強さを低下させる。Wの添加は衝撃値を低下させる。

文 献

1) 佐々木: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1973

(168) 12% Cr 耐熱鋼の焼戻過程の直接観察

東京大学, 大学院 ○宮原 一哉
東京大学, 工学部

工博 藤田 利夫・工博 荒木 透

Direct Observation of the Tempering Process of 12%Cr Heat Resisting Steels.

Kazuya MIYAHARA, Dr. Toshio FUJITA and Dr. Toru ARAKI.

1. 緒 言

12%Cr 耐熱鋼は、フェライト系耐熱鋼として、すぐ

れた高温強度を持っている。高温強度を高める種々の合金元素の影響は、多くの研究者によつて測定されている^{1)~3)}。しかしこの合金元素の影響の機構については、炭化物の析出におよぼす機構が研究されているのみで⁴⁾⁵⁾、母相の構造変化におよぼす影響については、調べられていない。

一般に 12%Cr 耐熱鋼は、炭素濃度が一定のとき、焼戻硬度が高いほど、高温強度が高い傾向がある。それ故、合金元素の高温強度におよぼす効果を調べるのに、しばしば、焼戻硬度の測定が行なわれる。本実験は、この焼戻硬度におよぼす合金元素影響の機構を、電子顕微鏡、直接観察による母相の構造変化と、結びつけて調べたものである。

2. 実験方法

Mo, V, Nb の単独添加、および Mo, V, Nb, B の複合添加の効果を、調べるために、Table 1 に示す6種の試料を用いた。試料成分は、単独添加の場合、ほぼ高温強度を高める効果が飽和する分量 (Mo の場合)、あるいは、最も効果の大きい分量 (Nb, V の場合) を選んだ。また、複合添加試料は、H46 (S6) および TAF 鋼 (S5) の成分を選んだ。試料は、大気溶解後、鑄造、熱間鍛造、冷間圧延により、0.4 mm 厚の薄板とし、熱処理後、硬度測定および電子顕微鏡観察を行なった。熱処理は、試料を、石英管に封じ込んで 1150°C × 30 min 水焼入し、400~700°C の各温度で焼戻した。

3. 実験結果および考察

合金元素の単独および複合添加の効果を調べる前に、合金元素の添加されない S1 の焼戻過程について、調

Table 1. Chemical composition of alloys (wt %).

| Sample No. | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | V | Nb | B |
|------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|
| S 1 | 0.19 | 0.50 | 0.77 | 0.011 | 0.009 | 0.12 | 11.57 | — | — | — | — |
| S 2 | 0.20 | 0.36 | 0.53 | 0.017 | 0.016 | 0.09 | 11.58 | 1.07 | — | — | — |
| S 3 | 0.20 | 0.44 | 0.54 | 0.005 | 0.018 | 0.08 | 11.85 | — | 0.38 | — | — |
| S 4 | 0.18 | 0.47 | 0.52 | 0.012 | 0.016 | 0.09 | 11.55 | — | — | 0.42 | — |
| S 5 | 0.21 | 0.41 | 0.89 | 0.005 | 0.018 | Nil | 10.53 | 1.59 | 0.19 | 0.20 | 0.037 |
| S 6 | 0.18 | 0.33 | 0.42 | 0.005 | 0.018 | Nil | 11.37 | 0.46 | 0.32 | 0.31 | — |

Table 2. The changes in the microstructure of tempered steels.

| State | Tempering temperature × tempering hour | Hardness (Hv) | Microstructures | |
|-------|--|---------------|---|---|
| | | | Precipitates (carbides) | Martensitic matrix (ferritic) |
| I | 500°C × 1000 hr or 600°C × 10 hr | 280 | Small carbides (M ₂₃ C ₆) precipitate on the grain-boundaries. | Dislocations are tangled and in high density. |
| II | 600°C × 100 hr or 700°C × 1 hr | 250 | 〃 | Tangled dislocations become released. At the same time, some domains of low dislocation density are formed. |
| III | 600°C × 1000 hr or 700°C × 10 hr | 230 | The carbides on the grain-boundary grow gradually. | Domains of high dislocation density are polygonizing, and low angle grain-boundaries are formed. |
| IV | 700°C × 100 hr | 200 | 〃 | Subgrains surrounded by low angle grain-boundaries grow larger. |
| V | 700°C × 1000 hr | 170 | The carbides grow to ~0.5μ dia. | The subgrain grow to ~3μ dia. The further growth of the grains is prevented by the carbides. |