

の方々、また実験ならび計算に協力願った高田正男、太田邦夫、烏谷徹の三君に厚く感謝の意を表する。

### 文 献

1) 原 隆啓: 鉄と鋼, 49 (1963) 11, p. 1669

2) 原 隆啓: 鉄と鋼, 49 (1963) 12, p. 1765

3) 原 隆啓, 高田正男, 太田邦夫, 烏谷 徹: 鉄と鋼, 49 (1963) p. 1885

4) E. OROWAN: Reports on Progress in Physics 12 (1949), p. 188~189

## 非磁性鋼の冷間加工硬化特性について\*

(タービン発電機用非磁性鋼の研究—I)

中野 平\*\*・後藤督高\*\*・前田昌敏\*\*

### On the Characteristic of Cold Work Hardening of Non-magnetic Steels.

(Study of non-magnetic steel for turbo-generator—I)

Taira NAKANO, Tadataka GOTŌ and Masatoshi MAEDA

#### Synopsis:

Influences of various factors such as solution treatment, cold work and stress relief on flow stress, cold work hardening characteristics and mechanical properties were tested with the austenitic cold work hardening steels, 8Mn-8Ni-4Cr, 18Mn-4Cr, and 14Mn-6Ni-4Cr, which have been most widely utilized for non-magnetic retaining ring of turbo-generator. After tensile cold working up to 30% reduction of area at various temperatures from 20°C to 500°C, tensile properties were studied at room temperature. The results obtained are as follows.

1) At the cold working temperature between 300°C and 500°C 8Mn-8Ni-4Cr showed the highest flow stress and 18Mn-4Cr the lowest, but at room temperature 18Mn-4Cr showed the highest flow stress on the contrary.

2) The investigation of the influence of cooling rate on the mechanical properties of the specimen with a 30mm square bar cooled from solution temperature revealed that there was no difference between air cooling and water quenching with all of the specimens, except with the steel 18Mn-4Cr cold-worked at a relatively lower temperature, which showed better properties after water quenching.

3) As the result of changing the cold working temperature, tensile and proof strength were increased and elongation and reduction of area were decreased with increasing working temperature for 8Mn-8Ni-4Cr and 14Mn-6Ni-4Cr but for 18Mn-4Cr, tensile and proof strength were the highest when the specimen was cold worked at room temperature. Therefore cold work hardening was the most remarkable for 8Mn-8Ni-4Cr at the temperatures between 300°C and 500°C and for 18Mn-4Cr at the room temperature.

4) Influence of stress relieving temperature on the mechanical properties of these specimens after cold working at 400°C and 500°C was studied. There was no changes of the mechanical properties when stress relieved at the temperature below cold working temperature, but when stress relieved above cold working temperature, proof strength, elongation and reduction of area were all decreased and especially when relieving at 600°C remarkable brittleness was caused because of carbide precipitation at grain boundary.

### I. 結 言

大型タービン発電機では、高速回転による遠心力で捲線が外方へ飛び出すのを防ぐために保持環が用いられ、その材料は荷酷な応力に耐えるために高い耐力が必要とされている。またこの保持環は磁性体であると磁界中で

回転するために保持環自体に渦流が流れて発熱し、発電機の効率を低下させるのでオーステナイト系の非磁性鋼が用いられる。しかしながら、オーステナイト鋼の特性

\* 昭和35年10月本会講演大会にて発表

昭和35年6月12日受付

\*\* 株式会社神戸製鋼所中央研究所

として熱処理のままの状態では高耐力が得難いので冷間加工硬化法が適用される場合が多く、また最近では時効処理による析出硬化によつて高強度を得る方法も実用化されつつあるようである。

冷間加工法による非磁性保持環材としてはMn-Ni-Cr系、あるいはMn-Cr系のオーステナイト鋼が用いられているが、これらに関する系統的な研究<sup>1)~4)</sup>は非常に少なく、したがつて種々の鋼種の冷間加工硬化による諸性質の変化を見究め、その特性を認識することも必要ではないかと考える。

このような観点から、本報では現在もつとも広く用いられている8Mn-8Ni-4Cr、14Mn-6Ni-4Crおよび18Mn-4Cr鋼を対象とし、冷間加工硬化特性におよぼす溶体化処理、冷間加工、および歪取焼鈍条件の影響を調査したので報告する。

## II. 実験材

実験に供した材料はTable 1に示すように欧米諸国で規格化されている中から、8Mn-8Ni-4Cr、18Mn-4Cr、14Mn-6Ni-4Crの計3鋼種を選び、塩基性500kg高周波炉により溶製した350kg鋼塊を30mm角材に鍛伸し使用した。

## III. 実験方法

冷間加工を施すに先立ち溶体化処理条件の影響を調べるために、実験材はすべて30mm角材を用い、1050°Cの温度で3h保持後、冷却速度を空冷、および水冷の2通りに変化させ溶体化処理を行なつた。その後、JIS 4号引張試験片(平行部径14mm、標点距離50mm)に加工仕上し、下記のような条件で引張加工を加えたものおよび歪取焼鈍を施したものの常温における引張試験を行なつた。

引張加工は、モール万能試験機により、温度を常温、300、400、500、600°Cの5通りに変えて各40mn保持後、加工率7~30%の範囲で同一加工率に対して各2本宛試験した。加工率は加工前後における試験片平行部の中央部と両端部、計3点の平均断面積の縮少率で表わした。この場合の冷間加工後における3点の断面積の

差異はきわめて小さく、無視し得る程度であつた。冷間加工時の引張速度はすべて1~2mm/mnに調整した。

冷間加工後の歪取焼鈍は、350~600°Cの範囲で各10h保持後空冷した。

## IV. 実験結果

### 1) 変形抵抗について

冷間加工を行なう場合にはもちろん硬化性のすぐれた加工温度が好ましいが、冷間加工の難易を左右する変形抵抗も考慮する必要がある、これは鋼種によつても変化することが考えられる。そこで本実験中の引張加工時に得られた応力-伸び曲線から加工率に対する負荷応力を求め、鋼種、および加工温度について変形抵抗を比較した。変形抵抗は、加工率に対してはその増加とともに直線的に大きくなるが、溶体化処理時の冷却速度に対してはほとんど差異が認められない。しかし、鋼種、および加工温度によつては大きく変化し、常温から500°C間の加工温度範囲では8Mn-8Ni-4Cr鋼および14Mn-6Ni-4Cr鋼は高温で変形抵抗の低下がいちじるしいが18Mn-4Cr鋼は加工温度の上昇に対してほぼ直線的に低下する。その値は常温では18Mn-4Cr鋼がもつとも高いが、300~500°C間の温度では逆に最低値を示し、8Mn-8Ni-4Cr鋼がもつとも高くなる。Fig. 1は加工率25%の場合の変形抵抗を比較図示したものである。

なお、加工温度600°Cの場合には3鋼種ともかなり

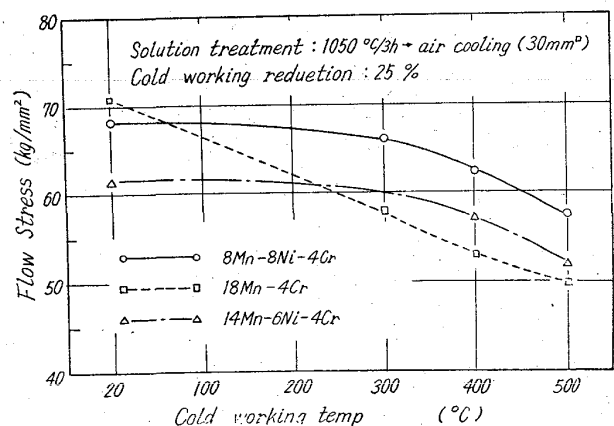


Fig. 1. Variations of flow stress at cold working temperatures.

Table 1. Chemical compositions of specimens tested (%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
8Mn-8Ni-4Cr	0.64	0.53	8.30	0.019	0.012	0.12	8.09	3.98
18Mn-4Cr	0.43	0.65	17.53	0.026	0.009	0.11	0.11	4.63
14Mn-6Ni-4Cr	0.53	0.75	14.33	0.025	0.010	0.13	6.00	3.72

低い加工率で破断し、実験不可能となつたので最高加工温度は 500°C とした。

2) 溶体化処理条件について

溶体化処理条件として、保持温度は 1050°C、保持時間は 3h 一定とし、冷却速度を 30mm 角材に対する空冷と水冷、2通りに変化させ冷間加工後の常温機械的性質におよぼす影響を調べた。その結果、実験を行なつた常温から 500°C 間の加工温度範囲において、全般的に加工温度の低い 300°C 以下では水冷材の方が硬化度、および靱性の高いすぐれた機械的性質を示すが、400°C 以上の加工温度の場合は急冷効果がみられず、かえつて空冷材の方がすぐれているという傾向が認められた。

この現象については、冷間加工温度が低い場合には加工中にカーバイトの析出が起こらないので水冷材の方がすぐれているが、加工温度が高くなると加工中にカーバイトの析出が起こり、水冷材の方が加工前のオーステナイト中の炭素量が高いためにより多くのカーバイトを析出する可能性が大きいことによるものと考えられる。

この冷却速度の影響を各鋼種について比較すると、8Mn-8Ni-4Cr 鋼、および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼においては比較的小さいが、18Mn-4Cr 鋼では、加工温度300°C 以下の場合において水冷材の方がすぐれた硬化度を示

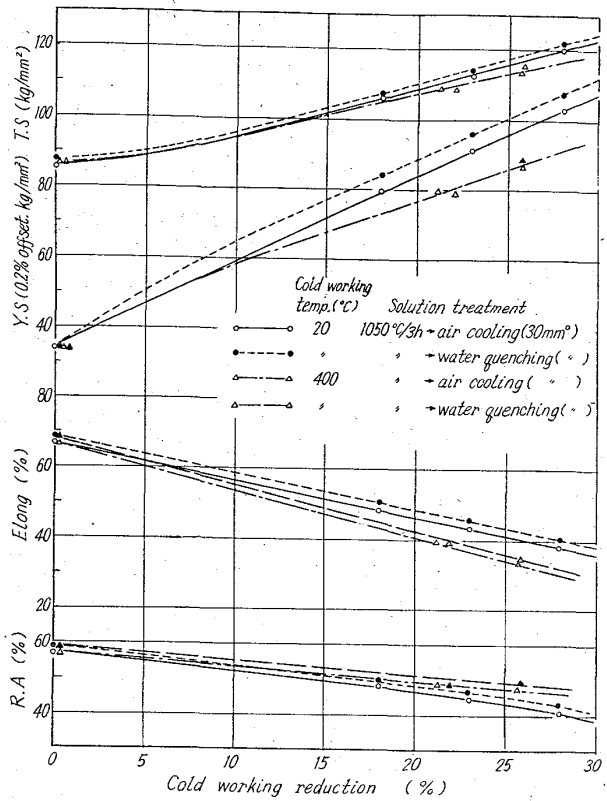


Fig. 3. Relation between solution treatment and characteristics of cold work hardening of 18Mn-4Cr steels.

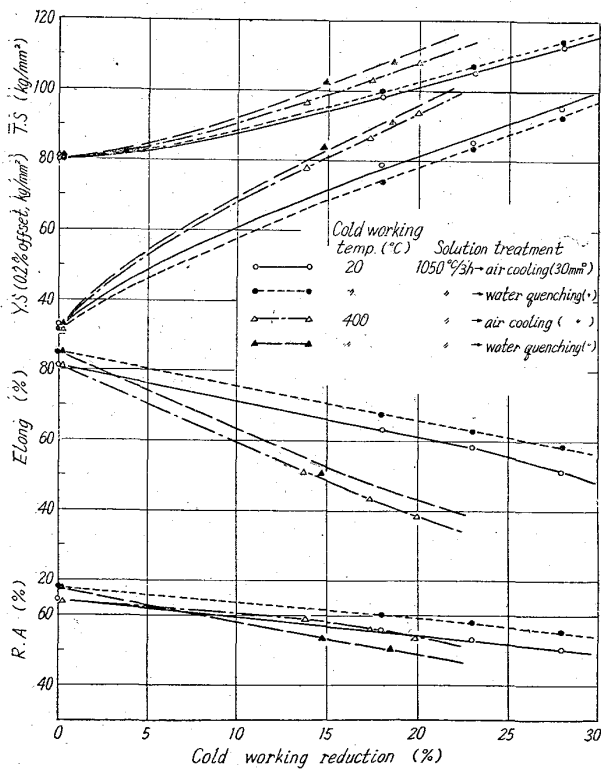


Fig. 2. Relation between solution treatment and characteristics of cold work hardening of 8Mn-8Ni-4Cr steels.

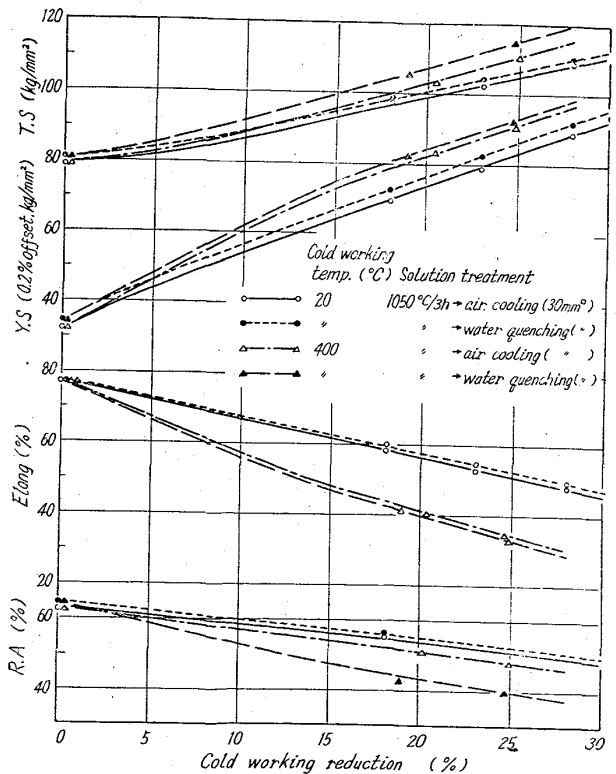


Fig. 4. Relation between solution treatment and characteristics of cold work hardening of 14Mn-6Ni-4Cr steels.

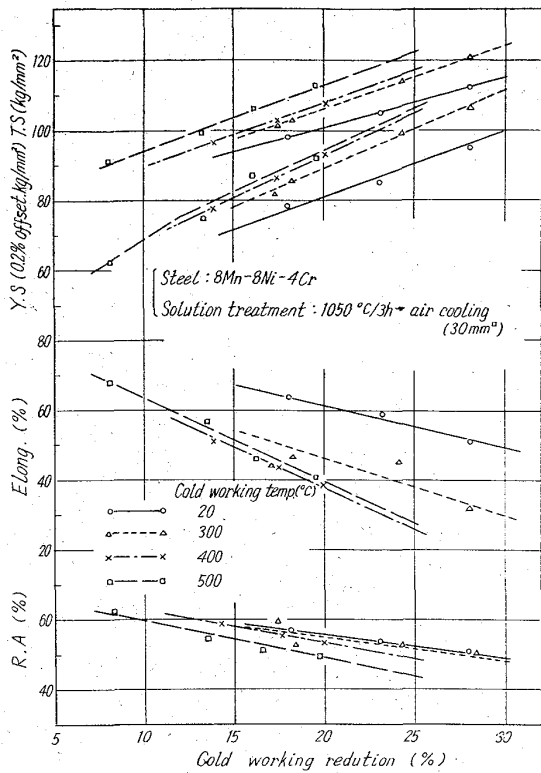


Fig. 5. Effect of cold working temperature on mechanical properties at room temperature.

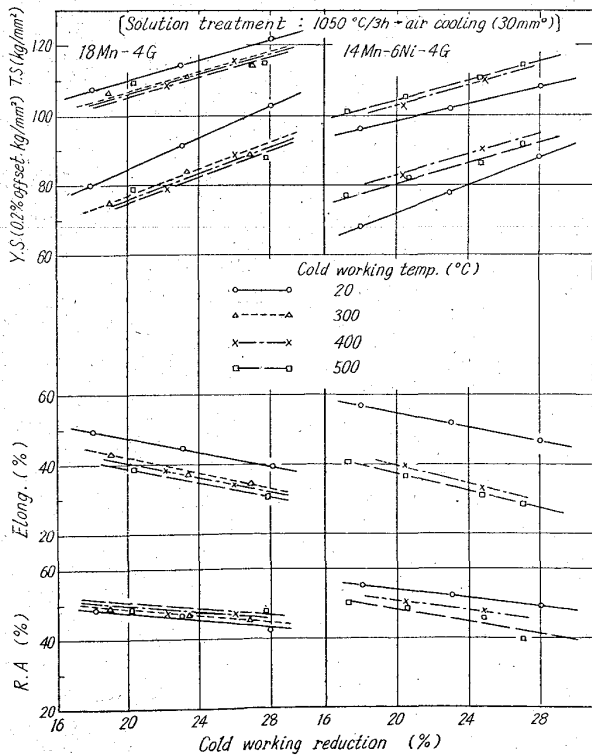


Fig. 6. Effect of cold working temperature on mechanical properties at room temperature.

し、急冷効果はかなり明瞭に認められる。実験結果の一例を Fig. 2~4 に示す。

3) 冷間加工温度について

冷間加工温度の常温機械的性質におよぼす影響については、実用性を考慮して 30mm 角材を 1050°C/3h 溶体化後、空冷したものの実験結果を Fig. 5~6 に示した。

8Mn-8Ni-4Cr 鋼、および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼の 2 鋼種は、実験を行なった常温から 500°C までの加工温度範囲ではその温度が高くなるにつれて加工硬化度は大きくなる反面、伸び、絞りの低下が認められ、これらの傾向は 8Mn-8Ni-4Cr 鋼の方が顕著である。これに対して、18Mn-4Cr 鋼は常温においてもつとも大きい加工硬化度を示すが、加工温度が 300°C になると硬化度は一段と小さくなり、300~500°C の加工温度範囲では機械的性質の変化が比較的小さい。

このような 8Mn--Ni-4Cr 鋼、および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼と 18Mn-4Cr 鋼との冷間加工硬化特性の差異については、前二者は加工温度の上昇につれてカーバイトの析出が大となり、それにともない硬化が付加される反面、伸び、絞りが低下するが、18Mn-4Cr 鋼はカーバイトの析出硬化が小さく本質的な加工硬化性にすぐれた鋼種であると考えられる。

実験を行なった 3 鋼種の冷間加工硬化特性を比較すると、加工温度の高い 300~500°C 間では 8Mn-8Ni-4Cr 鋼がもつとも大きい硬化度 (特に耐力) を示し、次いで 14Mn-6Ni-4Cr 鋼、18Mn-4Cr 鋼はもつとも小さいが伸び、絞りの差異は比較的小さい。また、常温で冷間加

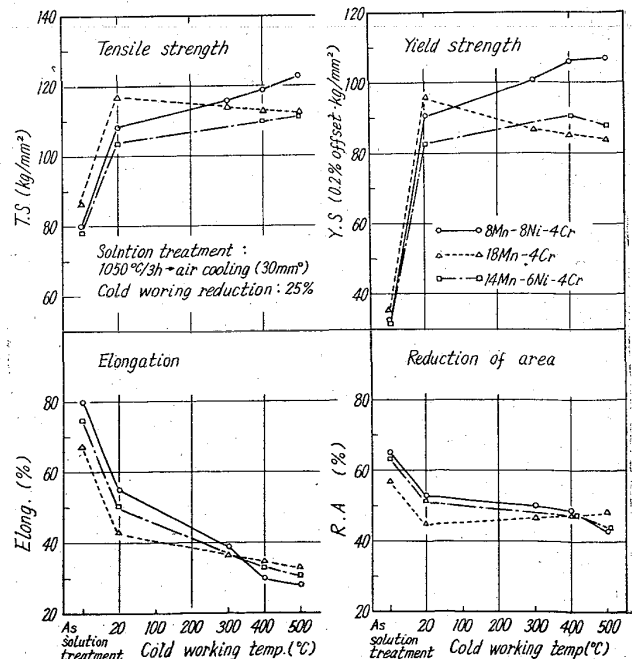


Fig. 7. Comparison of characteristics of cold work hardening of steels tested.

工を行なった場合には加工硬化度は 18Mn-4Cr 鋼が最大で、8Mn-8Ni-4Cr 鋼、14Mn-6Ni-4Cr 鋼の順に小さくなり、伸び、絞りは 8Mn-8Ni-4Cr 鋼、14Mn-6Ni-4Cr 鋼、18Mn-4Cr 鋼の順に低下する。Fig. 7 に加工率 25% の場合の各鋼種を比較示した。

4) 歪取焼鈍について

冷間加工を行なった材料は通常残留応力の均一化を計るために歪取焼鈍が施されるが、その温度が低すぎると効果がなく、また高すぎるとカーバイトの粒界析出による脆化を起こしたり、強度が低下する恐れがある。この歪取焼鈍の影響を調べるために、各鋼種について400°C および 500°C の温度で冷間引張加工を加え、350~600°C 間の温度で各 10h 歪取焼鈍を行なった後常温の引張試験を実施し冷間加工ままのものとの比較を行なった。Fig. 8~10に各鋼種の常温機械的性質におよぼす歪取焼鈍温度の影響を示した。

8Mn-8Ni-4Cr 鋼および 18Mn-4Cr 鋼は、加工温度 400°C および 500°C の場合共、加工温度よりも低い場合には機械的性質に変化はないが、加工温度ないしそれ以上の温度で歪取焼鈍を行なった場合には伸び、絞りが低下し、耐力値も若干低くなる傾向を示した。さらにそ

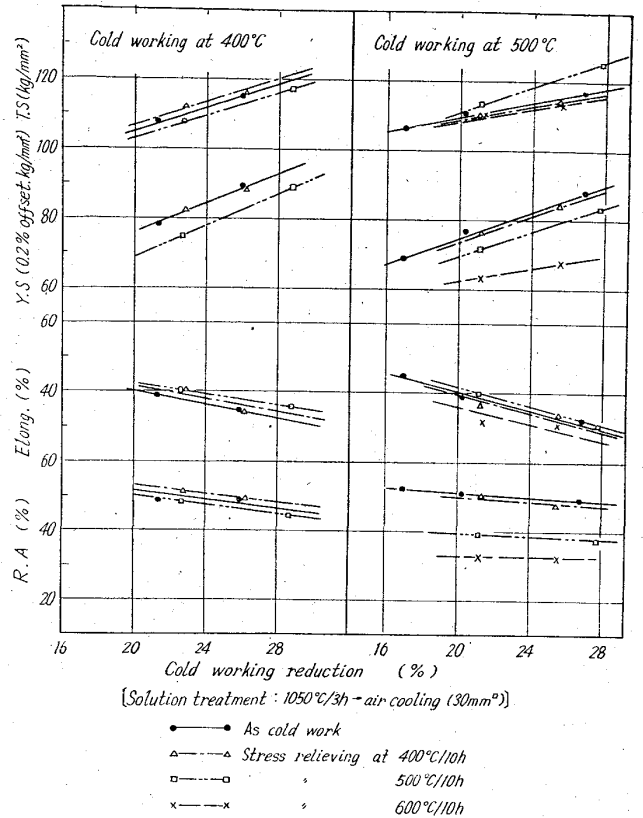


Fig. 9. Effect of stress relieving on mechanical properties at room temperature of 18Mn-4Cr steels.

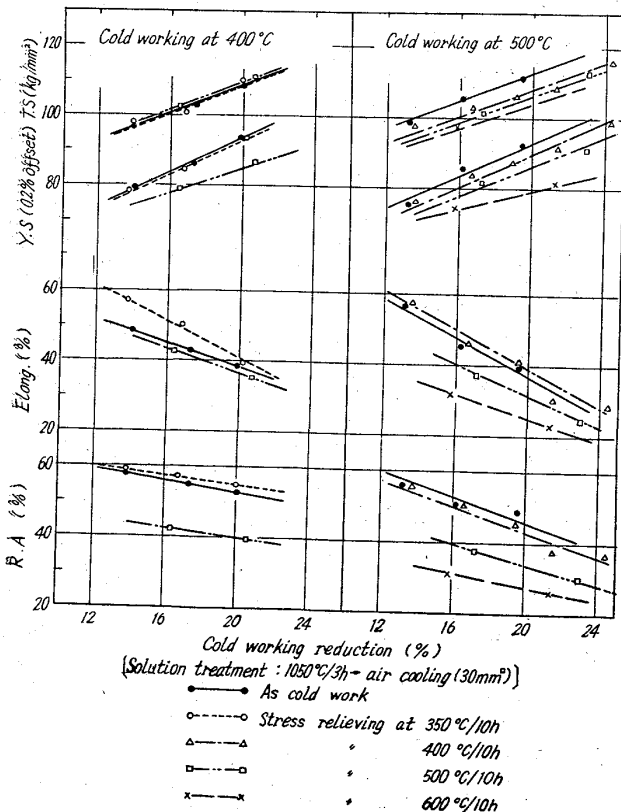


Fig. 8. Effect of stress relieving on mechanical properties at room temperature of 8Mn-8Ni-4Cr steels.

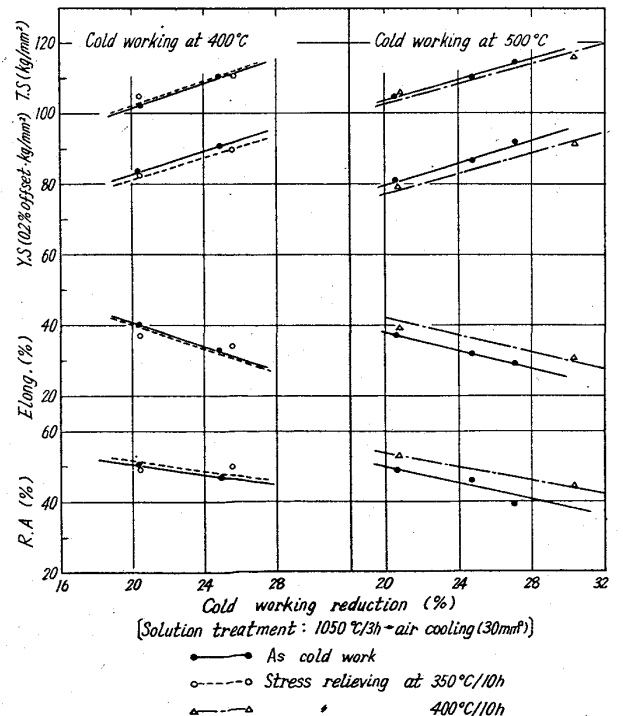


Fig. 10. Effect of stress relieving on mechanical properties at room temperature of 14Mn-6Ni-4Cr steels.

の温度が 600°C の場合にはその低下の傾向が顕著になり、カーバイトの粒界析出による影響が明らかに認められる。14Mn-6Ni-4Cr 鋼は加工温度以上では歪取焼鈍を行なっていないが、加工温度以下の場合の機械的性質はいずれも加工のままと差異がなく、本鋼種においても加工温度以上の温度では恐らく前記 2 鋼種と同じような傾向を示すものと推定される。

## V. 結 言

タンビン発電機に使用される非磁性保持環用材料の中から、もつとも広く用いられている 8Mn-8Ni-4Cr, 18Mn-Cr, および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼, 計 3 鋼種を選び、引張試験片を用いて常温から 500°C までの温度で引張加工を施した後、常温の引張試験を行ない、各鋼種の冷間加工時の変形抵抗、および冷間加工硬化特性におよぼす溶体化処理条件、冷間加工温度、および歪取焼鈍の影響を調査した。実験結果をまとめると次の通りである。

1) 冷間加工時の変形抵抗は、300~500°C の温度域では 8Mn-8Ni-4Cr 鋼がもつとも大きく 14Mn-6Ni-4Cr 鋼, 18Mn-4Cr 鋼の順に小さいが、常温では 18Mn-4Cr 鋼が最大値を有する。

2) 溶体化温度からの冷却速度の影響を調べた結果、8Mn-8Ni-4Cr 鋼および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼はその影響

がほとんど認められないが、18Mn-4Cr 鋼では加工温度の低い場合にのみ急冷した方がすぐれた機械的性質を示した。

3) 冷間加工温度による加工硬化特性の変化は 8Mn-8Ni-4Cr 鋼, および 14Mn-6Ni-4Cr 鋼では加工温度の上昇とともに強度は増加し、伸び、絞りは低下するが 18Mn-4Cr 鋼のみは逆に常温で加工した場合がもつとも大きい硬化度を示した。これら鋼種の冷間加工硬化度は加工温度 300~500°C の間では 8Mn-8Ni-4Cr 鋼が最大であるが、常温の場合には 18Mn-4Cr 鋼がもつとも大きい。

4) 冷間加工後の歪取焼鈍温度については、加工温度 400, および 500°C に対してそれ以下の場合にはほとんど影響はないが、加工温度、ないしそれ以上温度が高くなるにつれて伸び、絞り、耐力値が低下する傾向を示し 600°C の温度ではカーバイトの粒界析出による脆化がいちじるしい。

## 文 献

- 1) M. KRONEIS and R. GATTRINGER: Stahl u. Eisen, 81 (1961) 7, p. 431~445
- 2) H. FIEDLER and G. RICHTER: Neue Hütte Heft, (1960) 1, p. 21~31
- 3) 日下: 特殊鋼, 9 (1960) 6, p. 56~60
- 4) 山中, 日下, 外岡: 鉄と鋼, 45 (1959) 3, p. 301~303

# 各種純鉄の諸性質\*

(純鉄の研究—I)

草川隆次\*\*・大谷利勝\*\*\*

Properties of Various Pure Irons.

(Study on pure iron—I)

Takaji KUSAKAWA and Toshikatsu OTANI

### Synopsis:

Recent iron and steel alloys are very complicated. It is necessary to research the fundamental properties of iron for the development of these alloys.

For this purpose the properties of various kinds of commercial and trial-manufactured pure irons were investigated at first.

Pure iron contains generally C, Si, Mn, P, S, Ni, Mo, V, Ag and Sn as impurities.

Mechanical properties of full annealed pure iron are approximately as follows. Hardness: HRB 30, tensile strength: 30 kg/mm<sup>2</sup>, elongation: 50%, reduction of area: 70%.

Ultrahigh purity iron (Fe>99.99%) is high in work hardening rate and has good corrosion resistance.

\* 昭和38年4月本会講演大会にて発表 昭和38年7月1日受付

\*\* 早稲田大学理工学部, 工博 \*\*\* 早稲田大学理工学部