

Mn-Cr-W 系不変形用工具鋼の焼歪について*

横山均次**・松倉恒夫***・漆原富士夫****・島田捷彦****

On the Quenching-Deformation of Mn-Cr-W
Non-Deforming Tool Steels.

Kinji YOKOYAMA, Tsuneo MATSUKURA,

Fuji URUSHIBARA and Katsuhiko SHIMADA

Synopsis:

Twelve species of non-deforming steels in the composition range of about 1% C, 0.8~1.4% Mn, 0.5~1.1% Cr and 0.3~1.1% W were melted. With these steel specimens, examination was made on the degree of deformation in company with quenching and tempering.

From the results of this examination, it was confirmed that the Cr and the Mn contents reveal a strong influence on the quenching-deformation, while the effect of the W content was slight. Moreover, some heat-treating conditions were obtained with respective steel specimens for the sake of keeping the hardness necessary for tools and recovering the dimensions before quenching by hardening treatments.

I. 結 言

C 約 1%, Mn 約 1%, Cr 0.5~1%, W 0.5~1% 含有の工具鋼はいわゆる不変形用鋼として、ゲージ、タップ、ダイスその他精密を要する機械器具に広く用いられ、熱処理に際しては硬化後の変形ができるだけ小であることが望まれている。しかし著者らの経験によると上記の成分範囲においても Mn, Cr などの含有量の多少はこの種の鋼の熱処理による変形の程度にかなり鋭敏に影響するものであつて、このことはこの種の鋼の使用目的の上から重要なことと考えられる。

この研究は以上の主旨にもとづき Mn, Cr, W 量を変化させた一連のこの種の工具鋼の焼歪におよぼす成分元素の影響を考究したものである。

II. 試料および実験方法

この研究に使用した鋼試料の化学成分は Table 1 に示すとおりである。表中の各鋼試料はいずれも 35kVA 高周波電気炉によつて JIS SK3 を主要溶解原料としてこれにフェロカーボン、フェロタンゲステン、電解クロム、電解マンガンを追加して溶製し 60mm ϕ 鋳塊にした後、13mm ϕ 棒材に鍛造を行ない焼きなましたものである。

熱処理による変形の測定には 5mm ϕ \times 70mm 長さの試験片を用い、その中央約 50mm の距離に角度 60° \times 深さ \pm 0.3mm の切込みを入れ、その間の長さの変化をカール・ツァイス社製万能測微顕微鏡 (精度 1.5 μ)

Table 1. Steels investigated.

Steels	Chemical composition (%)				
	C	Si	Mn	Cr	W
S 1	0.91	0.49	0.85	0.53	1.02
S 2	0.91	0.46	1.05	0.54	1.09
S 3	1.00	0.44	1.41	0.54	0.98
S 4	0.89	0.28	0.81	0.55	0.44
S 5	1.02	0.21	1.22	0.53	0.29
S 6	1.07	0.23	1.27	0.52	0.37
S 7	0.92	0.23	0.78	1.04	0.86
S 8	1.07	0.26	1.12	1.08	0.92
S 9	1.05	0.23	1.36	1.13	0.86
S 10	1.07	0.24	0.87	1.10	0.33
S 11	1.04	0.23	1.12	1.09	0.35
S 12	1.03	0.22	1.37	1.04	0.37

を用いて測定し、また 10mm ϕ \times 10mm 高さの試験片についてロックウエルC硬さを測つた。さらに必要に応じて磁場の強さ 300 α にて磁化の強さを上述の長さの試験片と同一のものについて測定した。

III. 実験結果ならびに考察

(1) 焼入れによる変形

Fig. 1 は Cr 含有量が約 0.5% である鋼 S1~S6 試料を、Fig. 2 は Cr 含有量が約 1% である鋼 S7~S12 試料をいずれも 730°C にて 3h 焼きなましを行なつ

* 昭和37年10月本会講演大会にて発表

** 東京工業大学, 工博

*** 横浜市立大学, 工博

**** 東京工業大学

た後 800~950°C の各温度に 20mn 保持した後油冷した場合の硬さ、長さ、磁化の強さの変化を示したものである。なお長さの変化率は焼入前の寸法を基準とした。図に見られるように各試料とも 800°C 以上の焼入温度において十分硬化し、焼入温度が 900°C あるいは 950°C に上昇すると一般に硬さは低くなり、膨張の程度は一部の試料を除いては小となり、これに対して磁化の強さはすべて低下して残留オーステナイトの増したことを示している。さらに各試料の上述の焼入温度より空冷した場合の硬さ、長さ、磁化の強さの変化についてもしらべた。その結果 800°C より焼入れた場合は各試料とも十分硬化しないが、焼入温度が 850°C となると一部硬化するものを生じ、さらに焼入温度が 900°C 以上となると諸変化は全試料とも油冷の場合とほぼ同様となることが見られた。

つぎに以上の諸変化、特に焼入後の変形に対して Cr, Mn, W の添加元素がどのように影響を示すかを検討した。

1) Cr の影響

Fig. 1 に示された Cr 量が約 0.5% である鋼 S1~S6 試料群と Fig. 2 に示された Cr 量が約 1% である鋼 S7~S12 試料群とを比較するとき Cr 量の多い試料群の方が焼入温度の上昇ともなう硬さ、長さ、磁化の強さの減少の程度が大であつて焼入後の残留オーステナイト量の多いことを示している。例えば C, Mn, W 量がほぼ同じである鋼 S3 と S9 あるいは鋼 S6 と S12 の 950°C 油冷試料について比較するとき Fig. 3 に示されているように明らかに Cr 量の多い鋼 S9 あるいは S12 試料の方が硬さも、長さも、磁化の強さも小であることが認められる。さらに両試料群においては焼入れによる諸性質の変化の傾向が異なることが見られ

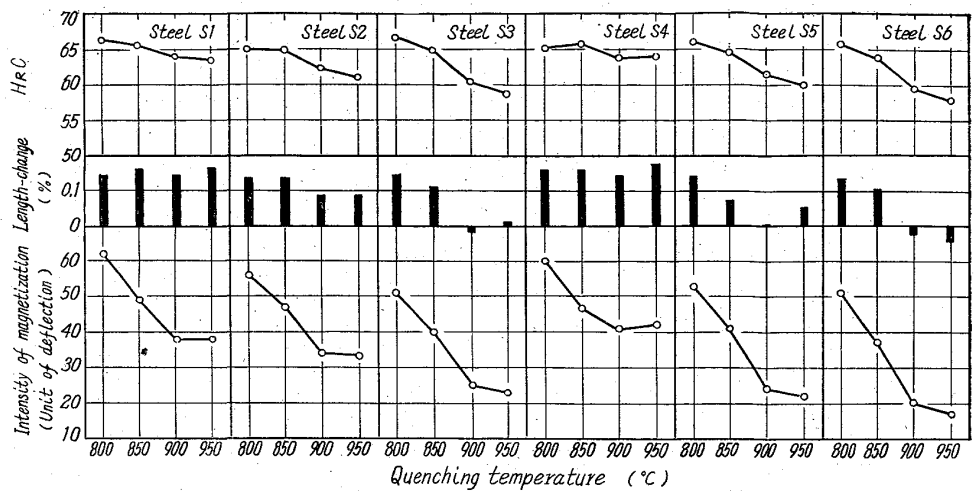


Fig. 1. Hardness, length-change and intensity of magnetization with steels S1~S6 oil-quenched from indicated temperature.

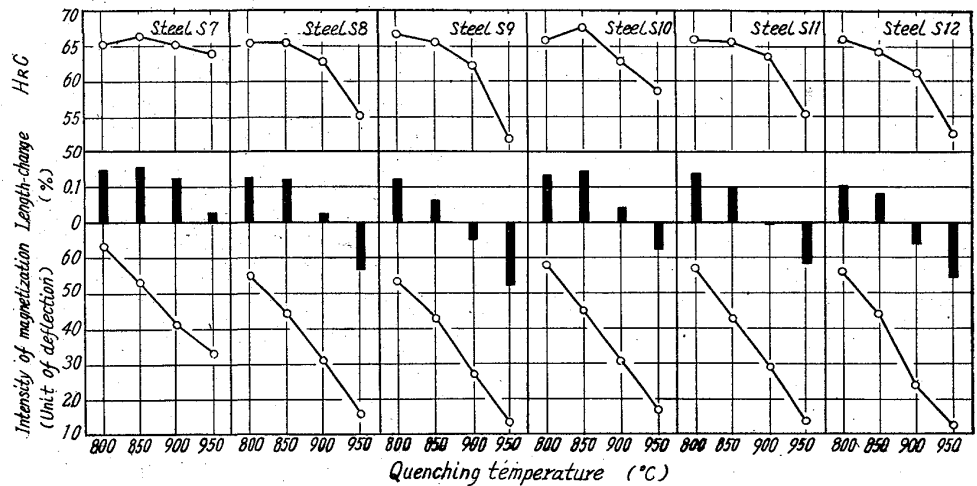


Fig. 2. Hardness, length-change and intensity of magnetization with steels S7~S12 oil-quenched from indicated temperature.

る。すなわち鋼 S1~S6 群においては焼入温度 900°C

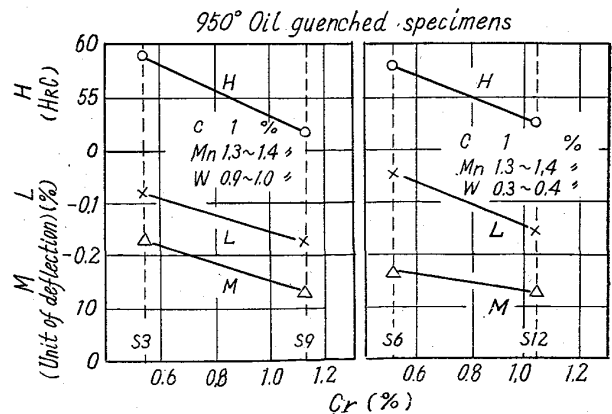


Fig. 3. Effect of Cr content on hardness (H), length-change (L) and intensity of magnetization (M) with specimens oil-quenched from 950°C.

までは磁化の強さが一ように減少して残留オーステナイト量が増すことを示しているが、焼入温度が 900°C 以上となると磁化の強さはそれ以上あまり減少を示さない。これはこの温度付近でオーステナイト濃度が増さないことを示すものであろう。硬さ、長さの変化もこれに対応して 900°C 以上の変化は小である。これに対して鋼 S7~S12 群においてはいずれの試料も焼入温度の上昇にともなつて磁化の強さは一ように減少するのが見られる。硬さ、長さの変化の傾向もほぼこれに対応している。

ii) Mn の影響

つぎに全試料を鋼 S1~S3, 鋼 S4~S6, 鋼 S7~S9, 鋼 S10~S12 の 4 群に分けると Table 1 に示したように各群においては C, Cr, W の量はほぼ一定であつて Mn 量は試料ナンバーの順に大となつてゐる。Fig. 4 は各群の Mn 量の変化にともなう焼入性のもつとも顕著に現われている 950°C 油冷試料についての硬さ、長さ、磁化の強さの変化を示したものである。図に見られるようにいずれの群においてもほぼ Mn 量の増加に比例して硬さも長さも磁化の強さも減少し焼入後の残留オーステナイト量の増したことを示している。ただ図に見られるように各群において Mn 量の増加にともなう減少の程度は Cr 量, W 量の多少によつて異なる。

iii) W の影響

つぎに Mn, Cr 量を一定にした場合の W 量の多少による影響は少ないようである。すなわち Fig. 5 に見られるように C, Mn, Cr 量が一定の場合の W 量の差に

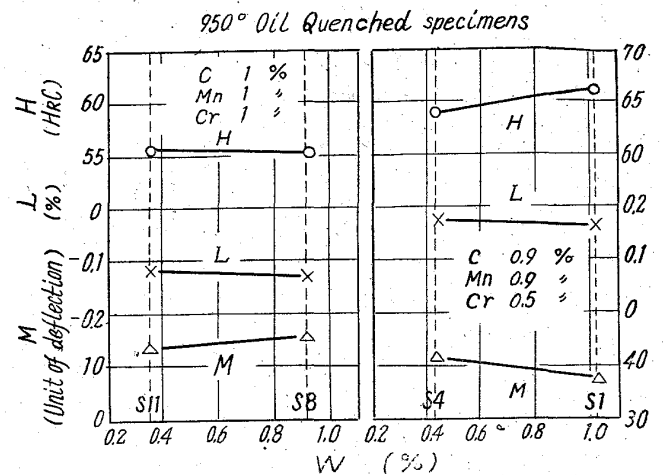


Fig. 5. Effect of W content on hardness (H), length-change (L) and intensity of magnetization (M) with specimens oil-quenched from 950°C.

よる諸変化の差は Cr 約 0.5% の場合においても Cr 約 1% の場合においてもほとんど認められない。

以上各添加元素の影響について考察した。つぎに Fig. 1・2 の結果より明らかなように一部の試料を除いて各試料とも一般に焼入温度の上昇にともなつてオーステナイトの残留量を増すため長さの変化率は漸次小となり、ある焼入温度において零となり、それよりさらに焼入温度が上昇すると焼入前の状態に対して収縮を示す。長さの変化率が零となるのは焼入れによつて生じた比容積の大なるマルテンサイトと比容積の小なるオーステナイトが容積的に balance して焼入前の容積に等しくなるためである。このような balanced type の状態を示す焼入温度 (これを T_Q とよぶことにする) はそれぞれ各試料に含有されている成分元素の多少によつて異なる。Fig. 1・2 に示した実験結果より各試料の T_Q と含有されている C, Mn, Cr, W 量 (%にて示す) との関係をも最小 2 乗法によつて 1 次式の形で示すと、

$$T_Q = 1365 - 294(C\%) - 138(Mn\%) - 15(Cr\%) + 32(W\%)$$

のような実験式が得られる。この式より見ると、この実験の範囲においては C, Mn, Cr 量を増すことは balanced type の状態をとる焼入温度を降下させることを示し、その程度は各元素の係数に現われているように C がもつとも大きく、Mn, Cr がこれにつぐ。また W は逆にこのような焼入温度を上昇させる作用のあることを示している。

(2) 焼戻しによる変形

Fig. 6 は 850°C にて油冷した各鋼試料を 400°C 以下の各温度にそれぞれ 1 h 焼戻した場合の硬さおよび長

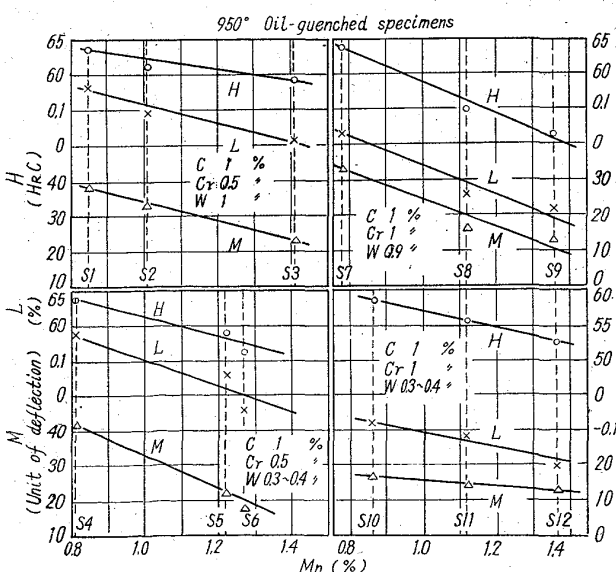


Fig. 4. Effect of Mn content on hardness (H), length-change (L) and intensity of magnetization (M) with specimens oil-quenched from 950°C.

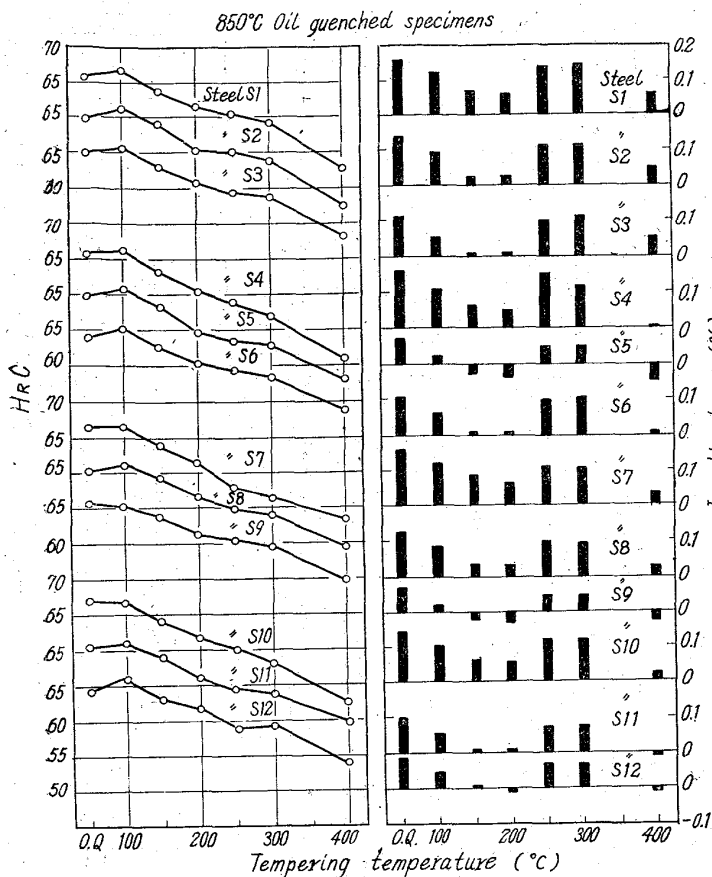


Fig. 6. Hardness and length-change with specimens oil-quenched from 850°C due to tempering.

さの変化を示したものである。この場合実用上必要とする硬さを保持するための焼戻温度は 200°C 以下である。この焼戻温度範囲では $\alpha_M \rightarrow \beta_M$ 変化を生じ、その際体積の収縮をきたすことが知られている。この研究に使用した試料においてはこのような低温焼戻し処理によつて焼入前の寸法にきわめて近似させることも可能であつて、このことは焼歪防止のための熱処理として使用目的の上から重要なことである。図において鋼 S3, S5, S6, S9, S11, S12 などのように比較的合金含有量が多く、焼入れによつてオーステナイトを残留しやすい試料においては 150°C に焼戻すことによつて硬さは Rc63 程度を保ち、長さの変化率は 0.01% 以下であるのに対して、鋼 S1, S4, S7 などの合金含有量の比較的少ない試料においては 0.06~0.08% 程度の変化率を示し、変形防止の上からは Cr, Mn などの添加元素量が多いことが望ましい。

つぎに Fig. 6 に示された結果より各試料とも焼入れ後の変化率の大小にかかわらず、200°C の焼戻しによつて生ずる収縮の程度は焼入れられた状態に対して約 1% でほぼ均等である。特に Mn 量の多い試料は焼入れによつ

てオーステナイトの残留量多く、したがつて α_M の量は Mn 量の低い試料よりも少ないにもかかわらず、上述のように $\alpha_M \rightarrow \beta_M$ にもなる収縮の程度が等しいのは一見奇異なことからであるが、このような事実は W-Cr 系不収縮工具鋼について山中、日下²⁾も認め、Mn の増加は α_M の分解を促進すると説明している。

つぎにまたこの種の鋼の焼歪防止という立場から以上の 200°C 以下の低温焼戻しの過程をみると、一般に高硬度を保ちかつ焼入前の寸法にできるだけ近づけるための方法としては 100~150°C の範囲で繰返し焼戻しを行なうことも有効である。Fig. 7 は 800~900°C より油冷あるいは空冷を行なつた各試料を図に附記してあるような温度および保持時間にて繰返し焼戻しを行なつた場合の長さの変化を示したものである。まず 800°C より油冷した試料においてはいずれも 150°C 以下の焼戻しによつて長さの変化率はさほど小とならないが、850°C 以上より焼入れた試料においては焼戻し条件を適当に選ぶことによつて変形量をきわめて少なくすることができる。すなわち Mn 量の多い鋼 S3, S6, S9, S12 試料においては 850°C 油冷後 100°C × 1h 焼戻しを 2, 3 回繰返すことによつてほとんど焼入前の寸法とすることができる。なおこの場合硬さは HRC 65 程度を保っている。また Mn 量のやや少ない鋼 S5, S8, S10, S11 試料にては 850°C 油冷後 150°C × 1h 焼戻しを行なうことによつてほぼ焼入前の寸法となることが見られる。この場合硬さは HRC 62~63 程度である。これに対して合金量の少ない鋼 S1, S2, S7 試料においては 850°C 油冷後の焼戻しによつては変形はさほど小とならず、変形を小とするには 900°C 油冷あるいは空冷後 150°C 程度に焼戻すことが必要である。ただしこの場合硬さは HRC 60 以下となる。合金量の特に少ない鋼 S4 試料においては 900°C 焼入れ、150°C 焼戻しによつてもなお相当の膨張を示すことが見られる。

つぎにこの種の工具鋼はその使用目的より常温時効に対して寸法が安定であることが望ましい。この種の鋼の寸法安定化処理としては上述のように 150°C 附近の温度で焼戻しを繰返すかあるいは長時間保持するか、あるいはサブゼロ処理と焼戻し処理とを交互に繰返すいわゆるサイクル処理を行なうことが有効とされている³⁾。Fig. 7 より 800~850°C 油冷後 100°C 焼戻しを繰返した後さらに 150°C × 1h 焼戻しを行なつた場合はその後さらに 150°C × 11h 焼戻しを行なつてもあまり変化

はほとんど見られない。また Mn 量の多い鋼 S3, S6, S9, S12 試料においては 850°C 油冷後 100°C × 1h 焼戻しを 2, 3 回繰返すことによつてほとんど焼入前の寸法とすることができる。なおこの場合硬さは HRC 65 程度を保っている。また Mn 量のやや少ない鋼 S5, S8, S10, S11 試料にては 850°C 油冷後 150°C × 1h 焼戻しを行なうことによつてほぼ焼入前の寸法となることが見られる。この場合硬さは HRC 62~63 程度である。これに対して合金量の少ない鋼 S1, S2, S7 試料においては 850°C 油冷後の焼戻しによつては変形はさほど小とならず、変形を小とするには 900°C 油冷あるいは空冷後 150°C 程度に焼戻すことが必要である。ただしこの場合硬さは HRC 60 以下となる。合金量の特に少ない鋼 S4 試料においては 900°C 焼入れ、150°C 焼戻しによつてもなお相当の膨張を示すことが見られる。

が生じないことが見られる。このことよりこの種の鋼においてはこの焼戻し温度附近に長時間保持するかあるいはこのような処理を数回繰返すことによつて処理後の寸法安定性が良好になることが考えられる。

IV. 総 括

C約 1%, Mn 0.8~1.4%, Cr 0.5~1.1%, W 0.3~1.1% の成分範囲で溶製された 12 種の不変形用工具鋼の焼歪におよぼす合金成分の影響をしらべ、さらにこの種の鋼の焼歪防止法について考究した。その結果を概括すればつぎのようである。

(1) Cr 量の多少は焼入後の残留オーステナイト量に影響する外、焼入温度の上昇にともなうオーステナイト量の変化の傾向にも影響する。焼歪もこれらのことに対応した変化を示す。

(2) 焼入後の硬さ、長さは Mn 量にほぼ比例して減少する。

(3) 他の元素の含有量が一定であるときは W 量の多少は焼歪の程度にほとんど影響しない。

(4) 工具として必要な硬さを保ち、かつ焼入れ焼戻しによつてほぼ焼入前の寸法となるような熱処理条件を各鋼試料について求めた。

(昭和37年11月寄稿)

文 献

1) 佐藤, 西沢, 大橋: 鉄と鋼, 44 (1958), p.54~58

2) 山中, 日下: 鉄と鋼, 42 (1956), p. 111

3) 横山, 松倉: 日本金属学会誌, 18 (1954), p. 366~370

4) 横山, 松倉, 黒田: 精密機械, 27 (1962), p.689~695

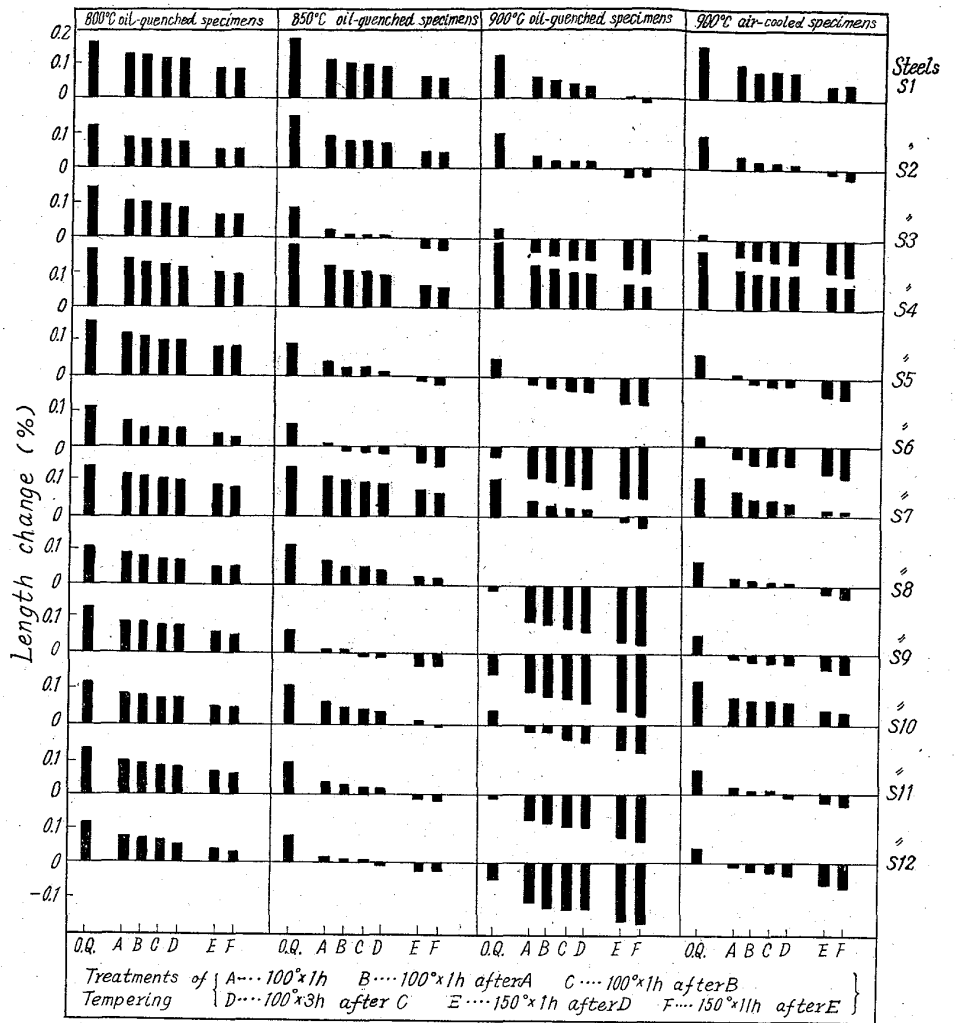


Fig. 7. Length-change with specimens oil-quenched from 800°~900°C and air-cooled from 900°C due to the indicated treatments of tempering.