

Fig. 4. Stress rupture curve for 18-8Ti cylinders ( $K=1.50$ , at  $650^{\circ}\text{C}$ ).

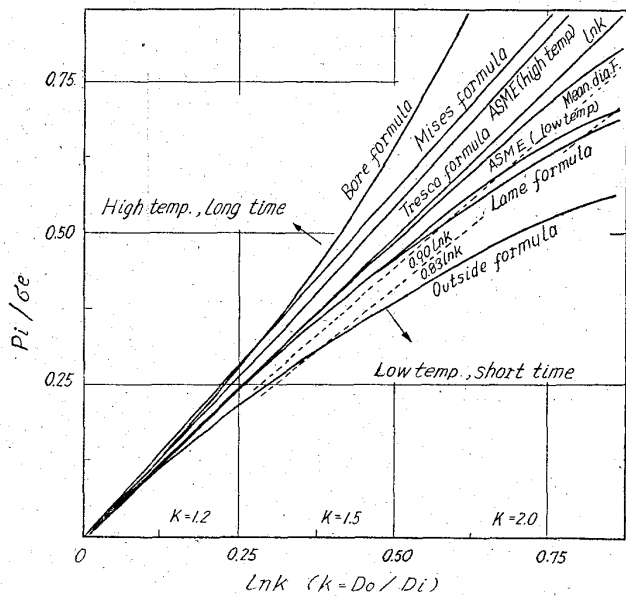


Fig. 5.  $P_i/\sigma_e$  vs.  $\ln K$  curves by various theories.

時間の結果であるのでさらに長時間試験を行なつてこれらの相違を確認する必要がある。本実験で、ラプチャー時間が100時間以内のときは、常温試験でえた実験式がかなりよく一致した。このことはクリープの影響が比較的少ない範囲では、常温における関係式が適用もうると考えられ、ASME Codeの低温における関係式と対応できるのではないかと思われる。このような考え方でASME Codeの低温の場合と比較すると、ASMEの場合には、Tresca ( $\ln K$ ) と Láme の中間の曲線を示すのに対し、本実験では ASME 同様 Tresca と Láme の間の曲線ではあるが、 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管は  $0.9 \ln K$  で ASME と  $K=1.8$  の付近で交わり、18-8Ti 鋼管は  $0.83 \ln K$  で ASME より下側の曲線を示した。すなわち、本実験では鋼種によつて実験式が異なるのに対し、ASME Code では鋼種に関係なく同一の式を使用していることになる。

18-8Ti 鋼管、 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管ともに、肉厚方向に対してほぼ  $45^{\circ}$  に割れを生じ、常温における厚肉円筒の破壊試験の場合と同様のことが多かつた。したがつて本

実験の範囲では破壊は最大剪断応力によるものと考えられる。しかし、中には  $90^{\circ}$  近い角度をなして破壊しているものも、18-8Ti 鋼管ではみられ、そのときは円周伸びの値も比較的小さい。また一般に、時間の短いほど、破断時の円周方向伸びが大きいといわれているが、今回の実験では必ずしもそうともいえなかつた。また  $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管の方が 18-8Ti 鋼管より2倍以上の円周伸びを示した。

クラックの発生は、18-8Ti 鋼管では内外面とも長手方向に多くのクラックを生じており、肉が厚くなるほど著しい。また内面のクラックの方が深さが大きく、おそらく内面より割れが生ずるものと推察された。 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管は、クラックの発生は認められなかつた。

IV. 結 言

4000 気圧不活性ガス 圧式内圧高温ラプチャー試験装置によつて  $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  および 18-8Ti 鋼管の、実際の使用温度における内圧ラプチャー試験を実施し、次のとき結論を得た。

(1) 内圧を受ける厚肉円筒のラプチャー強度計算式には、長時間側では Mean dia. Formula もしくは Tresca Formula が適当であろう。

(2) 短時間の場合には、本文に示したとき実験式がよく適合する。

(3) 短時間破壊においては、厚肉円筒のラプチャー強度は薄肉円筒のそれより大きい。

その他上述 (3) の現象に対する説明およびクラックの進行状況などに関して当日報告する予定である。

(150) Cr-Mo-V 鋼の焼入性およびクリープ破断強度におよぼす各種元素の影響

日立製作所, 日立研究所 ○佐々木良一

The Influence of Alloying Elements on the Hardenability and Creep Rupture Strength of Cr-Mo-V Steel.

Ryoichi SASAKI.

I. 緒 言

1Cr1Mo1/4V 鋼は低合金鋼の中では高温強度がすぐれた材料として知られており、高温装置用部材として広く使用されている。タービン車軸用の C0.3% 付近の CrMoV 鋼について、高温強度におよぼす C, Mo, V, Ni の影響が調べられている<sup>1)</sup>。しかし C が 0.2% 付近については、各種合金元素の含有量が標準組成付近で変動した場合に、どの程度高温強度に影響があるのか明らかでない。また一般に Al の使用は極度に制限されているが、高温強度におよぼす Al の影響は明らかでない。よつて CrMoV 鋼をベースとして、C, Cr, Mo, V および Al 量を変えて、焼入性および高温強度におよぼすこれら諸元素の影響を調べた。

II. 試 料

高周波溶解炉で CrMoV 鋼をベースとして 120~160 kg 溶解し、30 kg 鋼塊に分鑄した。分鑄の過程で C,

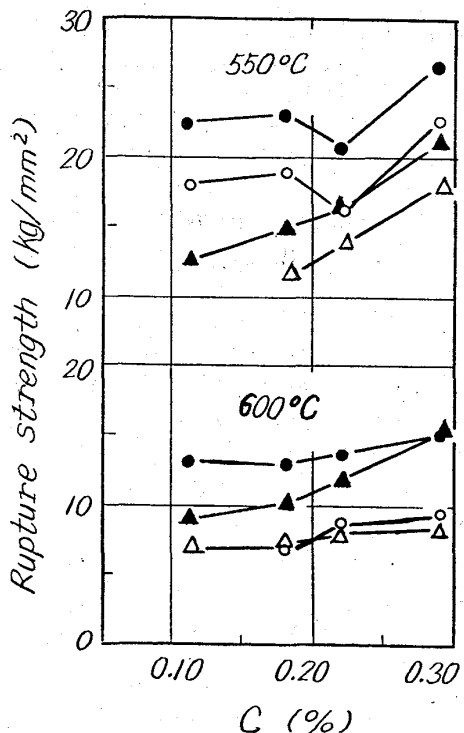
Cr, Mo, V, Al などの諸元素を添加調整して, C 0.11 ~ 0.29%, Cr 0.5 ~ 2.5%, Mo 0.07 ~ 1.4%, V 0.02 ~ 0.24%, Al 0 ~ 0.21% に変えた 5 群 22 種の試料を溶製した。ジョミニー試験用には 35φ, その他は 20φ に鍛伸し, 1,025°C × 2 hr 加熱し, 衝風冷却 (約 3,000 °C/hr) および炉中冷却 (約 100°C/hr) し, 室温まで冷却後 695°C × 20 hr 焼戻して炉冷した。

III. 実験および実験結果

(1) 焼入性

焼入性におよぼす諸元素の影響を求めするために 25φ × 100 mm のジョミニー試験片を用い, アルゴンガス中で 1,025°C × 2 hr 加熱後, 一端水冷して, 一端焼入性曲線を求めた。

C が 0.11% では水冷端の硬さは Hv = 420 で, 焼入硬化深さは約 7 mm であるが, C 量の増加とともに水冷端の硬さは著しく高くなり, かつ焼入硬化深さも深くなる。Cr 量が変わっても水冷端の硬さはあまり変わらないが, 焼入硬化深さは Cr 量が高いほど深い。Mo 量が変わっても水冷端の硬さは変わらないが, Mo も著しく焼入硬化深さを増す。V が 0.02 ~ 0.24% の範囲では, 一端焼入性曲線におよぼす V の影響は認めがたい。Al 量の増加とともに水冷端の硬さは低下し, 硬化深さも減少する。



●—● B. A. C. 1,000 hr    ▲—▲ F. C. 1,000 hr  
○—○ B. A. C. 10,000 hr    △—△ F. C. 10,000 hr

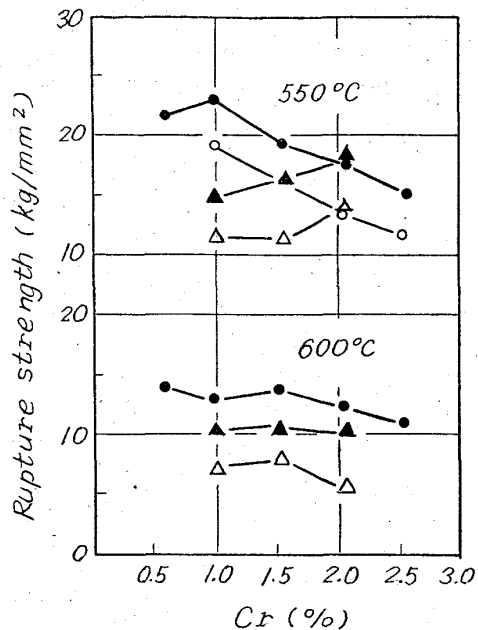
Note for Fig. 1~5

B. A. C. or F. C. from 1,025°C and tempered at 695°C for 20 hours.

B. A. C.: Cooled with blast air cooled (about 3,000°C/hr)

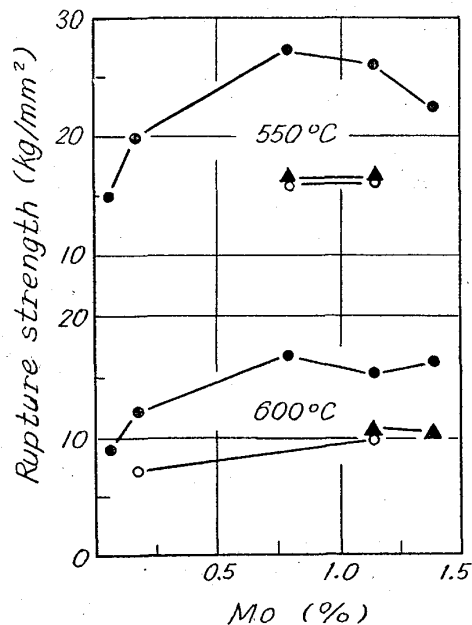
F. C.: Cooled in furnace (about 100°C/hr)

Fig. 1. The effect of C on the rupture strength of CrMoV steel (Cr = 1.0, Mo = 1.1, V = 0.2).



●—● B. A. C. 1,000 hr    ▲—▲ F. C. 1,000 hr  
○—○ B. A. C. 10,000 hr    △—△ F. C. 10,000 hr

Fig. 2. The effect of Cr on the rupture strength of CrMoV steel (Cr = 0.18, Mo = 1.20, V = 0.26).



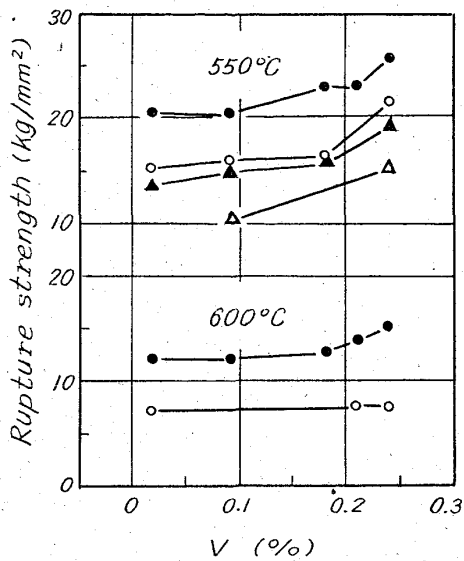
●—● B. A. C. 1,000 hr    ▲—▲ F. C. 1,000 hr  
○—○ B. A. C. 10,000 hr

Fig. 3. The effect of Mo on the rupture strength of CrMoV steel (C = 0.19, Cr = 0.97, V = 0.23).

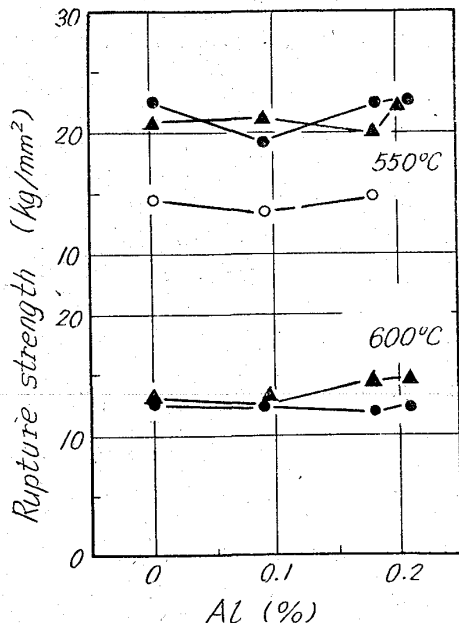
(2) クリープ破断強度

平行部直径 6mm φ の試験片を用い, 550°C および 600°C で 1,000 ~ 2,000 hr (一部の試片は 8,900 hr) のクリープ破断試験を行ない, 1,000 hr 強度および外挿により 10,000 hr 強度を求めた。

Fig. 1 はクリープ破断強度におよぼす C の影響を示す。C 量の増加とともにクリープ破断強度は増し, 特に



●—● B. A. C. 1,000 hr    ▲—▲ F. C. 1,000 hr  
○—○ B. A. C. 10,000 hr    △—△ F. C. 10,000 hr  
Fig. 4. The effect of V on the rupture strength of CrMoV steel ( $C=0.21$ ,  $Cr=1.03$ ,  $Mo=1.18$ ).



●—● B. A. C. 1,000 hr    ▲—▲ F. C. 1,000 hr  
○—○ B. A. C. 10,000 hr    △—△ F. C. 10,000 hr  
Fig. 5. The effect of Al on the rupture strength of CrMoV steel ( $C=0.22$ ,  $Cr=0.97$ ,  $Mo=1.20$ ,  $V=0.18$ ).

550°Cではその影響が大きい。炉冷焼戻材と衝風冷焼戻材とを比べると、一般に後者の方がクリープ破断強度は高いが、破断線図の傾斜は前者より急で、高温長時間側では両者の差は小さい。Fig. 2はクリープ破断強度におよぼすCrの影響を示す。Crの影響は衝風冷焼戻材と炉冷焼戻材とは全く異なる傾向を示している。衝風冷焼戻材のクリープ破断強度は550°CではCr 1%のものが最も高く、1%以上ではCrの増加とともに低下し、600°CではCr 0.6~1.55%まであまり変わらず、それ以上のCr量では同様低下する。炉冷焼戻材のクリー

プ破断強度は550°CではCr量の増加により高くなり、600°CではCr量によつてあまり変わらない。Fig. 3はMoの影響を示す。衝風冷焼戻材のクリープ破断強度はMoの添加により著しく高くなり、550°Cでは0.8%付近で最大値を示し、以後Moの増加によりやや低くなり、600°CではMo 0.8~1.35%の範囲ではあまり変わらない。Fig. 4はVの影響を示す。V量の増加とともにクリープ破断強度は高くなり、特に550°CではVの影響は大きい。600°CではVの影響は小さく、特に長時間側の推定強度はVによつてほとんど変わらない。Fig. 5に示すようにクリープ破断強度におよぼすAlの影響はほとんど認めがたく、また炉冷焼戻材と衝風冷焼戻材との差もほとんど認めがたい。

#### IV. 考 察

鋼の焼入性におよぼす各元素の影響については多数の実験結果から焼入性倍数などが求められ、ある程度明らかになっている<sup>2)3)</sup>。これによると実験した諸元素の中で、C, Cr, Moはいずれも焼入性を増す元素として知られているので、得られた結果は定性的には常識的なものである。Cは焼入硬さと深さを増し、Crは焼入硬さにはあまり影響を与えず、深さを著しく増すことは興味深い。

Fig. 1に示すようにクリープ破断強度におよぼすCの影響は、600°Cでは小さくなり、長時間側では熱処理による差もなくなる。これは高温長時間の試験では試験中に炭化物の凝集化が進むためであろう。一般にCの影響はある量で最大の効果を示し、それ以上では効果が減少するのが普通である。したがつてC 0.3%付近のCrMoV鋼ではC量の少ない方がクリープ破断強度が高いという熊田ら<sup>4)</sup>の実験結果と本実験結果とは相補うものであつて矛盾するものではない。0.2C-0.5Mo-0.5W-0.8V鋼の焼入焼戻材ではCr 1%付近に最大強度の点があつて、Cr 7%までCrの増加とともにクリープ強度が低下することは、すでCOLBECKらによつて報告されてい<sup>5)</sup>て、本実験結果も550°Cでは定性的に一致する<sup>4)</sup>。しかし炉冷焼戻材の場合は高Cr側の方が強く、Cr 2%では炉冷焼戻材と衝風冷焼戻材との差はほとんどなくなる。この理由は明らかでないが、低Cr鋼では炭化物は主として $M_3C$ 型で、Crが高くなり2%Cr以上では $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$ ,  $Mo_2C$ ,  $M_6C$ 型の炭化物が現われ、炭化物反応は極めて複雑となり、試験中にも変化が進み、この変化の様相は初めの熱処理によつてかなり変ることが知られてい<sup>5)</sup>て、炭化物の析出形態の相違が主要な原因であろう。1Cr0.8V0.2C鋼におよぼすMoの影響をGEMMILとMURRAYが調べ、600°Cでは0.8~1%付近にMoの効果の山があることを明らかにした<sup>6)</sup>。本実験でも衝風冷焼戻材の550°Cの1,000 hr破断強度はMo 0.8~1%が最大で、定性的に一致した。Vの影響も550°CではVの高いほどクリープ破断強度は高くなり、一般的傾向と一致する。

#### V. 結 言

- (1) C量の増加とともに著しく焼入性は増し、クリープ破断強度は高くなり、特に550°Cではその影響が大きい。
- (2) Cr量の増加とともに著しく焼入性は増し、特

に焼入深さが増す。クリープ破断強度は衝風冷焼戻材の 550°C では Cr 1% のものが最も高く、1% 以上では Cr 量の増加とともに低下し、これに対し 炉冷焼戻材の 550°C では Cr 量の増加により高くなる。

(3) Mo の添加は焼入性を増すが、C, Cr ほど著しくない。クリープ破断強度は Mo の添加により著しく高くなり、550°C では 0.8% 付近で最大値を示し、600°C では Mo 0.8~1.35% の範囲では変化は小さい。

(4) V は実験した 0.24% まででは焼入性に与える影響は小さく、550°C のクリープ破断強度は V の添加とともに高くなる。

(5) Al の添加は焼入性を低下させるが、実験した 0.2% までではクリープ破断強度に与える影響は小さい。

文 献

- 1) 熊田, 渡辺: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 594~595
- 2) 例えば, 大和久: 焼入性焼きの入り方 (1962)
- 3) 〃, 日本鉄鋼協会: 鋼の熱処理 (1957), p. 39, 丸善
- 4) COLBECK et al.: BISI Special Report No. 43 (1952), p. 107
- 5) BAKER, NUTTING: J. Iron & Steel Inst. (U. K) (1959), p. 257~269
- 6) GEMMIL, MURRAY: ASME paper No. 56-A-214 (1957), p. 12~13

(151) 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼および 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼のクリープ破断強度

日立製作所, 日立研究所

佐々木良一・○幡谷 文男

The Creep Rupture Properties of 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si Steel and 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo Steel.

Ryōichi SASAKI and Humio HATAYA.

I. 緒 言

1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼および 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼はボイラ用鋼管として高温高圧の部分に多量に用いられており、これらは普通焼準焼戻しあるいは焼鈍の熱処理が行なわれている。これらの鋼種のクリープ破断強度については多くの研究があるが<sup>1)~5)</sup>、長時間試験を行なったものは比較的少なく、特に 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼については少ない。これらの強度は熱処理によつて著しく異なり、短時間強度は高くても、10,000 hr 以上の長時間強度が低下する場合がある。著者らは長時間強度におよぼす熱処理条件の影響を明らかにすることを目的とし、最大 20,000 hr までの長時間クリープ破断試験を行なったので報告する。

II. 試 料

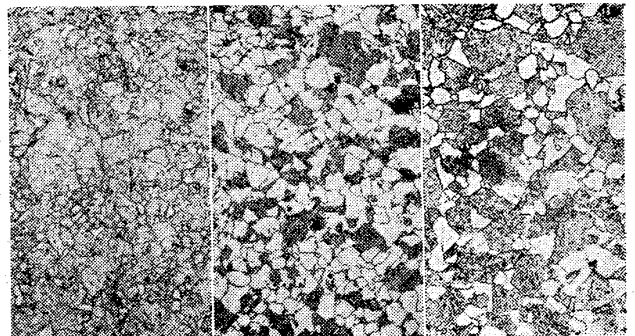
Table 1 は試料の化学組成を示す。熱処理は 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼については 950°C×3 hr 加熱後それぞれ 1,400°C/hr (空冷), 500°C/hr および 150°C/hr

(冷炉) で炉却焼準し、700°~720°C×4~20 hr の焼戻し、ならびに 950°C×3 hr 加熱後 50°C/hr および 25°C/hr 冷却焼鈍を行なった。2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼は 930°C×3 hr 加熱後 1,400°C/hr, 500°C/hr および 150°C/hr で冷却焼準し、700~720°C×7~13 hr 焼戻しを行なった。これらの試片について室温 ~600°C における引張試験を行ない、またクリープ破断試験は 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼については 500°C および 550°C で、2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼については 550°C および 600°C で行なった。引張試片は JIS 4 号, 平行部 8mm φ, GL 28mm を、クリープ破断試片は 6mm φ, GL 30mm を用いた。

III. 実験結果

Photo. 1 は 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼を焼準後 700°C×10 hr 焼戻した試片の顕微鏡組織である。1,400°C/hr 冷却 および 500°C/hr 冷却のものはペーナイト+フェライト+マルテンサイトが、また 150°C/hr 冷却のものはフェライト+パーライトが焼戻されて炭化物が析出凝集した組織を呈し、冷却速度の大きいものほどフェライトが少なくなっている。

Fig. 1 は 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si 鋼を焼準後 720°C×10 hr 焼戻したものおよび焼鈍材ならびに 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼を焼準後 700°C×15 hr 焼戻した試片の引張試験結果を示す。焼準焼戻材は焼準時の冷却速度の大きい方が高



a) 1,400°C/hr cool b) 500°C/hr cool c) 150°C/hr cool

Photo. 1. Microstructures of 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1/2Mo-3/4Si steel cooled from 950°C at various cooling rate and tempered for 10 hr at 700°C. ×100 (2/5)

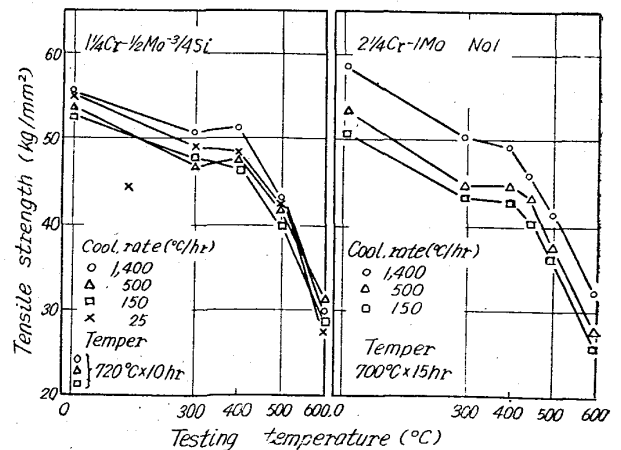


Fig. 1. Tensile strength of various heat treated specimens.