

# 耐熱構造用鋼の研究

## (耐熱鋼の研究(VI))

(昭21.4月日本鐵鋼協會講演大會講演)

出口喜勇爾\*\*

### STUDY ON THE HEAT-RESISTING CONSTRUCTION STEELS

(Study on the heat-resisting steel VI)

Kiyoji Deguchi

On the low Cr, low Cr-V, medium Cr, medium Cr-V, 13% Cr and Cr-Mo steels, the author studied the mechanical properties, not only at the room temperature, but also at the high temperatures up to their tempering temperatures, respectively after tempered at 600 and 650°C. Then their high temperature creep limits are measured by the newly designed creep tester.

#### I. 緒言

高級なる耐熱鋼の諸性質はそれぞれの目的に応じて發表されて居るものが多いが、例へば燃料化學工業の如き余り高くない温度と於て使用される低合金構造用鋼に關してはこれが案外に少いので、かかる場合の實用的要求に應ずる爲に代表的に低 Cr, 低 Cr-V, 中 Cr, 中 Cr-V, 13% Cr 及 Cr-Mo 鋼の6種を選び、先づそれらの常溫機械的性質を測定した後、これらの鋼が 600° 位迄の高温度に於て使用される場合<sup>(1)</sup>の爲に、焼入後 600 及 650° に焼戻した場合の高溫機械的諸性質をも検討した。次に新に高溫蠕變試験機を試作し、これによつて上記諸試料の高溫蠕變強度を測定した。

#### II. 試料

試験用高周波電氣爐によつて各鋼種に就き 8kg 鋼塊 4 本づつ溶製し、その中 1 本は常溫機械的試験に、次の 1 本は高溫抗張、衝撃試験に、残りの 2 本は高溫蠕變試験に供した。第 1 表\* はそれら各試料の中代表的に 1 本づつの化學成分、變態温度及熱處理温度を示す。

#### III. 實驗方法

常溫並に高溫の機械的性質測定方法はすべて前報迄のそれと同様であり、高溫蠕變測定法に就ては別に後節に於て詳述する。

#### IV. 實驗結果

##### (1) 常溫機械的性質

第 1 表

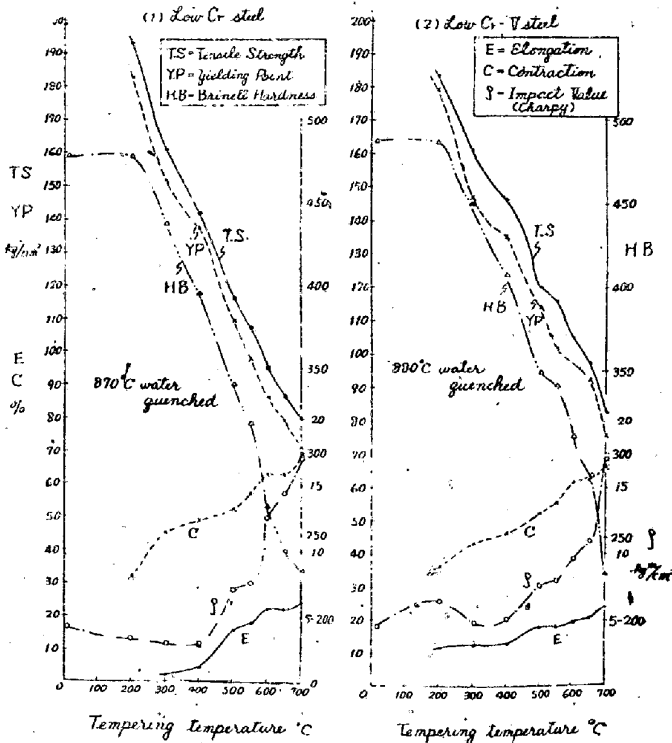
No.	鋼種	化學成分 %								變態温度 °C		熱處理温度 °C	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	Ac	Ar	焼入	焼戻
1	低 Cr	0.35	0.46	0.71	0.018	0.025	0.96	—	—	755~810	670~725	870水	焼入のまま ~700 600,650
2	低 Cr-V	0.35	0.42	0.72	0.019	0.020	0.96	0.25	—	765~820	680~745	880 "	"
3	中 Cr	0.19	0.31	0.76	0.020	0.030	2.16	—	—	790~830	670~735	890 "	"
4	中 Cr-V	0.18	0.31	0.78	0.011	0.022	2.49	0.22	—	790~830	683~760	890 "	"
5	13% Cr	0.22	0.37	0.43	0.014	0.020	13.18	—	—	830~870	{ 740~780 350~400	930油	"
6	Cr-Mo	0.31	0.20	0.45	0.012	0.021	1.22	—	0.30	767~818	670~740	880水	"

\* 本研究は戦争末期近くなつて行つたもので、資源的に Ni の使用は極度に制限されて居り、従つてかゝ

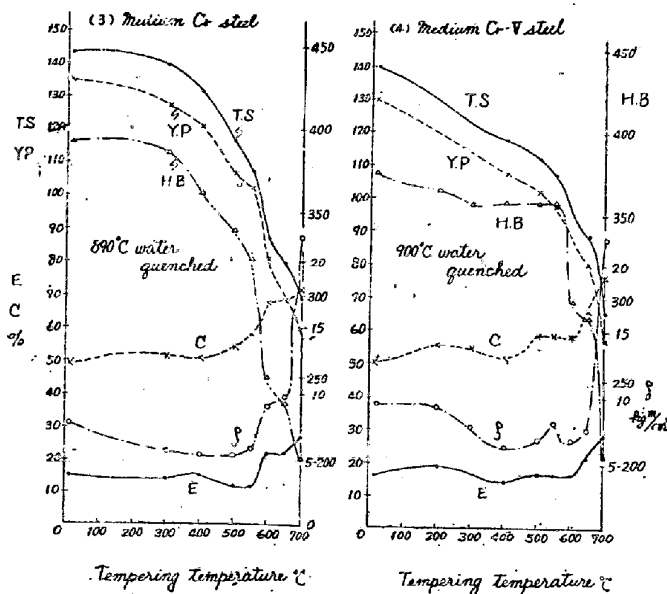
る耐熱構造用鋼としては含 Ni 試料は全然採用しなかつた。

\*\* 日本特殊鋼株式會社

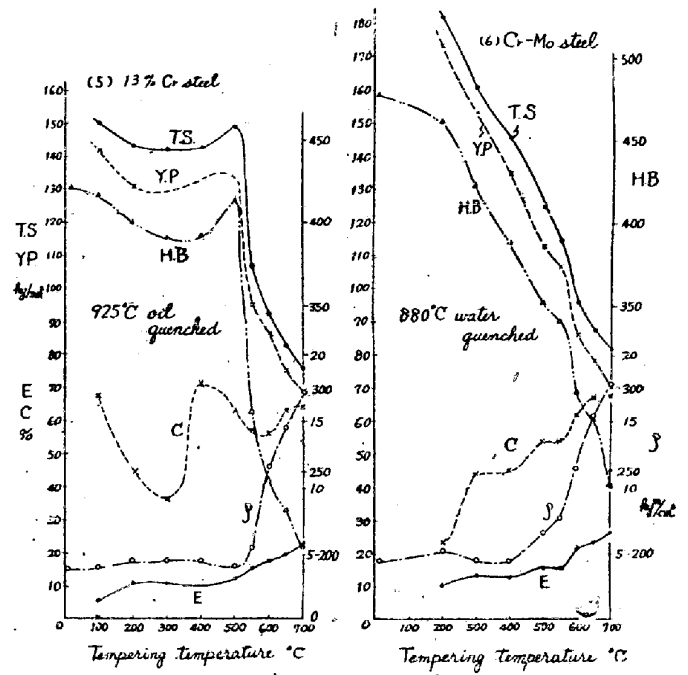
第1圖(1)~(2)に示す。No.1と2,3と4とを比較して見るに、低Cr及中Cr鋼にVを約0.25%添加する時は硬さ及強さは焼戻温度400~500°以下に於ては影響がないが又は若干低くなるが、これ以上の温度に焼戻した時は大となり、靱性は焼戻温度約500°以下に於ては大であるが、これ以上に於ては大差がない、これは少量のVの添加により靱性を増すが、V鋼のマルテンサイトは安定で600°位迄保持され又500~600°で残留オーステナイトからV炭化物を析出し折出硬化を起す<sup>(2)</sup>爲と考へられる。特にNo.4に於



第1圖(1)



第1圖(2)



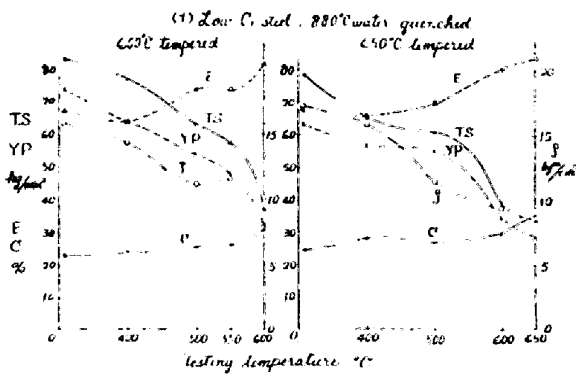
第1圖(3)

てこの點が明瞭に現はれて居る。No.5の13%Cr鋼は焼戻温度400~500°に於て明瞭なる脆性を示して居り、No.6 Cr-Mo鋼の性能曲線はNo.2のそれと非常に近似して居る。蓋し化學成分的に見てもVとMoとが等量で置換しただけの相違である。

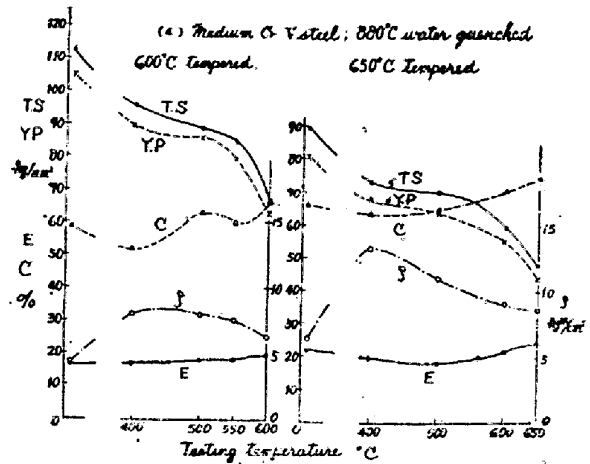
(2) 高温機械的性質

各試料を焼入後何れも600及650°に焼戻し、然る後それぞれ焼戻温度迄の各温度に於ける高温抗張及衝撃試験を行つた結果を第2圖(1)~(6)に示す。

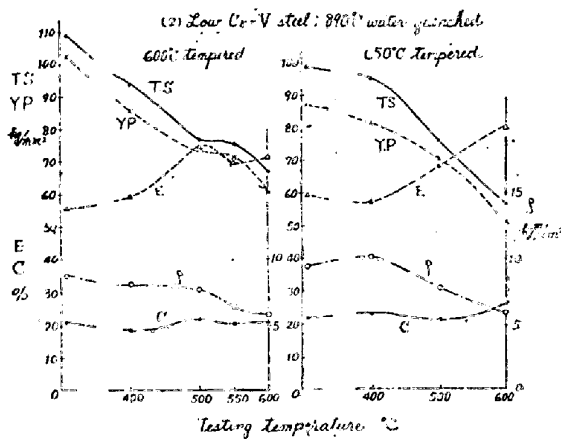
扱てNo.1と2,或は3と4とを比較すると、600及650°り何れの焼戻温度に於てもVを添加したNo.2或は4の方が抗張力、降伏點は高く衝撃値は低いが、絞の方は大差がない。然してかゝる差異は650°よりも600°焼戻試料に於て著しく現はれて居る。又中Cr鋼のNo.3,4の衝撃値は試験温度400~450°に於て極大を示すが、これは600°よりも650°焼戻試料の方が著しい。No.5では焼戻温度が600°のものと650°のものとの試験温度による機械的性質の變る有様が殆ど相等しい、又衝撃値は何れの試験温度に於ても大きく且試験温度による變化は少い。No.6は常温試験の場合と同様高温試験に於てもCr-V鋼に近似して居り、Vは高温に於て抗張力を高める事Moと似た性質があると云はれて居る<sup>(3)</sup>通りである。唯衝撃値は600及650°の何れの焼戻試料に於ても試験温度上昇と共に低下して居る、蓋しCr, Cr-V, Cr-Mo鋼は何れも多かれ少なかれ500~600°に於て第二次脆性を示すが、Cr-Mo鋼に於ては常温衝撃値が大きい



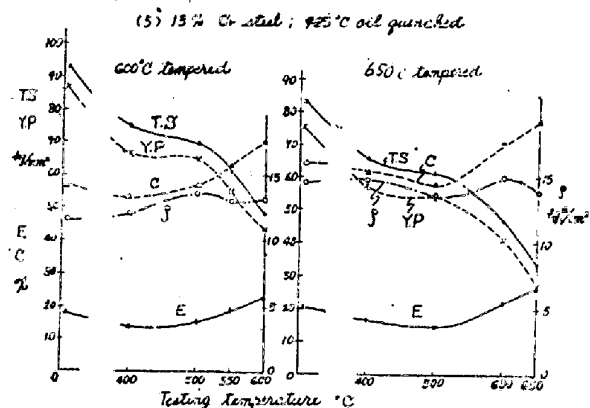
第 2 圖 (1)



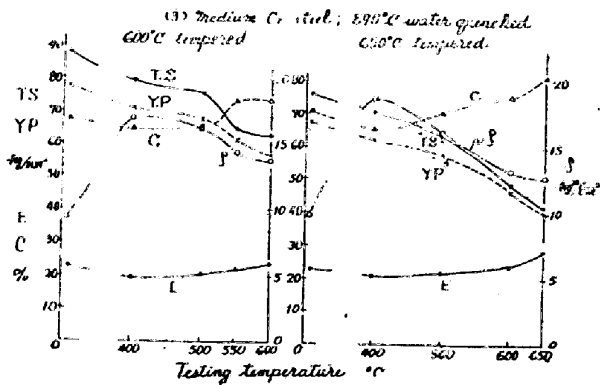
第 2 圖 (4)



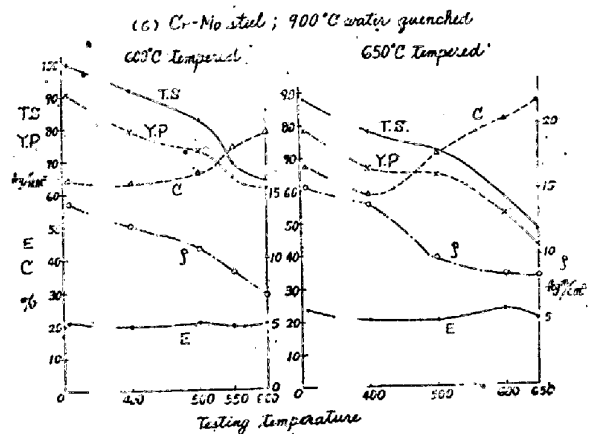
第 2 圖 (2)



第 2 圖 (5)



第 2 圖 (3)



第 2 圖 (6)

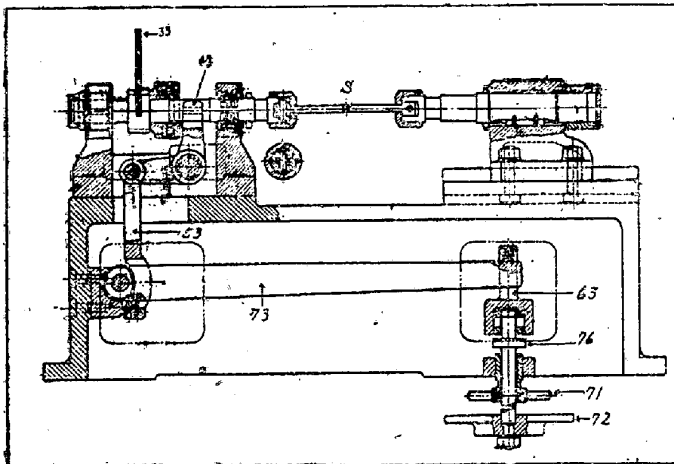
爲に 650° 位迄は試験温度上昇と共に衝撃値は低下する一方となる。

尚高温抗張試験の際荷重一伸線圖を描かせた結果によれば、No.1~4 の Cr 或は Cr-V 鋼に於ては荷重が最大値に達してから後試験片が可成り伸びて破断するが多いが、No.5, 6 特に No.6 の Cr-Mo 鋼に於ては最大荷重に達して後幾分何も伸びずして破断するが多い。これに関しては改めて再検討しなければならない。

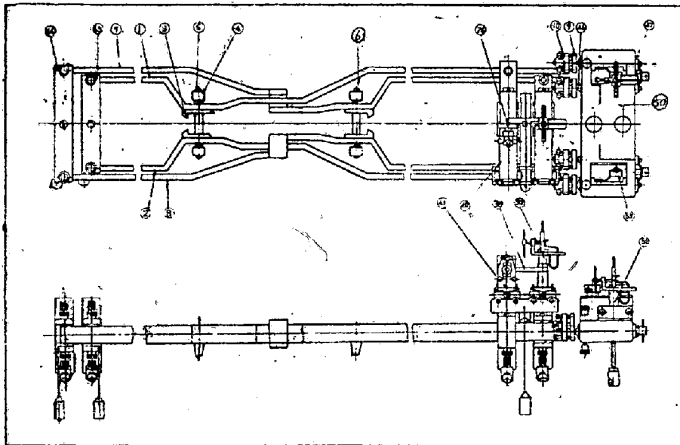
(3) 新高温制鋼試験機

高温に於て長時間使用される構造用耐熱鋼としては、高温抗張力のみならず高温制鋼強度の大なる事が必要である。これが爲に當社に於て制鋼の理論及制鋼測定装置に関する多数の報告(4)を参考にして次に示す如き新高温制鋼試験機を設計試作(藤井製作所に於て)した。これは引張り及換りの兩方を試験する事が出来、引張りでは 3,000kg 換りでは 150kg-cm の容量を有する。第 3, 4 圖はその概略の構造を示す。試験

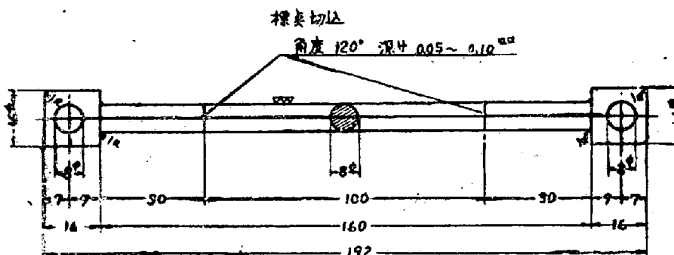
片は第 5 圖に示す如く直径 8mm, 標點距離 100mm で, 標點距離を示す位置に浅い溝が切り込まれて居る。



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖

扱て第 3 圖に於て試験片 S の右端は主軸にとりつけられ試験機に固定されるが, その左端は, 72 に載せた荷重が 63, 73, 53 と挺子関係によつて 43 なる引張り荷重レバーに傳へられて左方に引張られる。最初荷重の場合は把手 71 を廻して 76 を押し上げ, 72 に重錘を載せても試験片に衝撃的に張力が加はらない様にして置き, 次に 71 を逆方向に徐々に廻轉して試験片には静かに荷重される様にする。振り試験の場合に

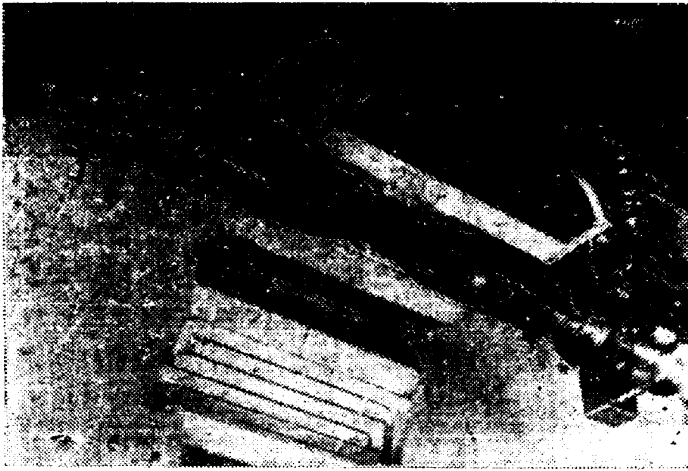
は 33 なる振り荷重レバーに重錘を静かに吊して試験片を振る。第 4 圖は試験片の伸び或は振れ測定装置の詳細を示す, 即 1, 2, 7, 8 は測定桿にして 1, 2 は伸び, 振れの兩方に對して作動し, 7, 8 は伸びの場合にのみ作動する。然してその兩端の保護環 63, 64 は極めて軽く主軸に乗つて居るだけで, 主軸にそつて移動する事が出来る。3 は測定桿に附屬せるナイフェツヂで試験片の標點距離を示す位置に刻まれた浅い溝で試験片を噛む。4, 5 或は 6 は測定桿を試験片に固定するクランプである。又 9 は測定桿の軸方向に正確に直角を示す平板にして左右 2 個づゝ測定桿の右端にとりつけられて居り, 10 はその直角を微細に調整するボルトである。46, 47 は細長い小圓柱にして左右 2 個づゝあり, 主軸に跨つて乗り且ボルトによつて主軸に固定されて居るフレーム 50 の兩側にうがたれた孔の中に軽く挿入されて居る爲に, 軸方向に自由に移動する事が出来る。然してその右端は 50 に連結されたばねによつて押さへられて居る爲にその左端の圓錐形尖端は常に平板 9 に接觸して居る。兩外側の圓柱 47 から出て居る 53 なる押へばねによつて常に内側の方に壓しつけられて居り, これと内側の圓柱 46 に刻まれた溝との間に測定用鏡の菱形の足を挟んで居る。51 はこの伸測定用鏡装置で左右に 2 個ある。又 26 は振れ角度を直角方向に移動さす平板, 30 は振れ測定用鏡装置で中央に 1 個あり, 38 は平板 26 に接觸して鏡面の振れを讀取望遠鏡により測定するものである。

伸び及振れ測定装置を備へつけ且加熱爐をもとりつけた場合の外観を寫眞に示す。

今假りに引張り荷重した場合試験片が若干伸びたとすれば, 1, 2 の測定桿は伸びだけ移動し, 保護環 63, 64 は主軸の移動には無關係に單獨に移動する, 然る事は結局試験片の伸びだけが作用する事になる。然して 46, 47 に測定桿の移動が作用して 53, 46 間に保持される鏡を通して稜を廻轉せしめるこの鏡の振れを讀取望遠鏡にて讀む, この際測定装置の温度その他の影響によつては 46, 47 は同方向に等しいだけ移動する爲に, その間に挟まれた鏡は廻轉しない, かくの如く 46, 47 によつて, 絶対に試験片の標點間の伸だけを表はし, その他の影響による誤差は相殺される。

(4) 高温匍匐強度。

前記匍匐試験機によつて, 短時間法により高温匍匐



匍匐強度並に参考の爲にその温度に於ける降伏點、抗張力を挙げれば第2表の如くである。

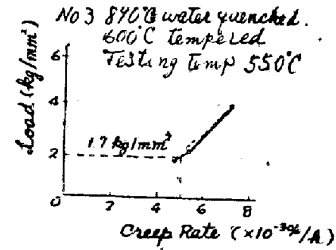
第2表

No.	鋼種	焼入後 600° に焼戻したるもの、550° に於ける		
		降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	匍匐強度 (kg/mm <sup>2</sup> )
1	低 Cr	57.7	68.0	>1.0
2	低 Cr-V	71.5	75.2	6.5
3	中 Cr	61.6	64.8	1.7
4	中 Cr-V	79.3	85.3	5.3
5	13%Cr	55.2	61.1	5.8
6	Cr-Mo	64.3	99.2	5.9

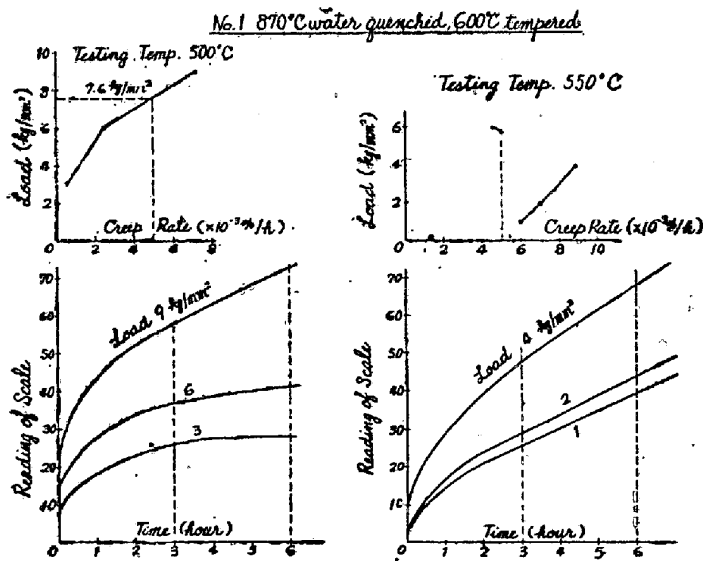
強度を測定した要領は次の通りである<sup>(6)</sup>、即

- (I) 豫熱時間 1h
- (II) 豫備荷重 0.6kg/mm<sup>2</sup>
- (III) 測定時間 6h
- (IV) 匍匐度決定時間 3~6h
- (V) 匍匐限とする匍匐速度 50×10<sup>-4</sup> %/h
- (VI) 測定温度の精度 ±5°C

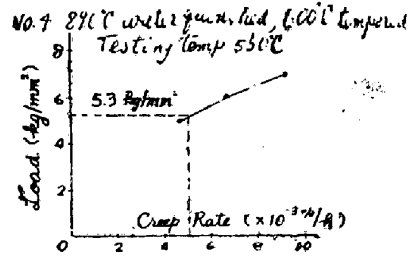
測定結果の一部を第6圖(1)~(6)に示す\*。今各試料の焼入後 600° 焼戻したものを 550° に於て測定した



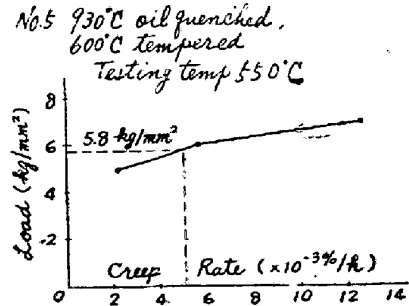
第6圖(3)



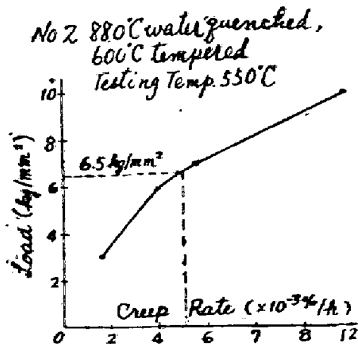
第6圖(1)



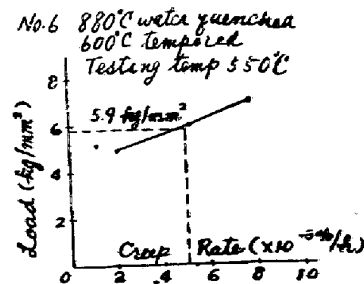
第6圖(4)



第6圖(5)



第6圖(2)



第6圖(6)

これによれば低 Cr, 中 Cr 鋼共に V を添加する事により抗力張は約 10~20kg/mm<sup>2</sup> 増加するが, 匍匐強度の方は 3~6 倍に増加する. 13%Cr 鋼と Cr-Mo 鋼とは殆ど相等しい匍匐強度を示し, この値は Cr-V 鋼のそれに近い. 抗張力或は降伏點と匍匐強度とは必づしも比例しない. 本表によれば低 Cr-V 鋼の匍匐強度が, 僅かの差ではあるが, 最も大であるのは, C 含有量にも若干影響されて居るものと思はれる.

V. 結 論

(1) 耐熱構造用鋼として低 Cr, 低 Cr-V, 中 Cr, 中 Cr-V 13%Cr, Cr-Mo 鋼の 6 種を選び, その常温並に高温機械的性質を検討した. 又新に高温匍匐試験機を試作し, これによつて各試料の高温匍匐強度を測定した.

(2) Cr 鋼に V 又は Mo を添加する事により高温強度は可成り増加するが, それにも増して高温匍匐強度の方は著しく増加する. 13% Cr 鋼の抗張力は比較的低い, 匍匐強度は Cr-Mo 鋼のそれと殆ど相等しい. (昭. 23. 10 月寄稿)

文 献

(1) 絹川, 鐵と鋼, 26 (昭 15), 609, 金屬, 11 (昭 16)

No. 2, 95

(2) 濱住, 輓近鐵鋼及特殊鋼 (昭 19), 273  
 (3) Ed. Houdremont, Sonderstahlkunde (1925), 373. 玉置, 構造用特殊鋼 (昭 10), 92.

(4) 適當に纏められた文献としては  
 H. J. Tapsell, Creep of Metals (1931).  
 清水, 金屬の匍匐, 日本金屬學會誌, 4 (昭 15) 講義, 213, 253, 290, 335, 380, 432.

H. W. Gillett, Some Things We Don't Know about the Creep of Metals, Trans. Amer Inst. Min. Met. Eng., 135 (1939), Iron & Steel Div, 15, etc.

(5) 小島, 鐵と鋼, 29 (昭 18), 404.

\* 本試験機の試作が完成し, その調整も出来たので計費通り耐熱構造用鋼の高温匍匐強度の測定に着手したが, 終戦その他の諸事情の急變により豫定通りの測定を完了する事が出来ず, 又測定値に對しても再検討を要するものも多いのであるが, 該測定を再開始する事は困難なる状況にある爲, こゝには測定結果の中, 十分に再検討し精確にして纏つたものゝみをとつて参考の爲に報告する次第である.

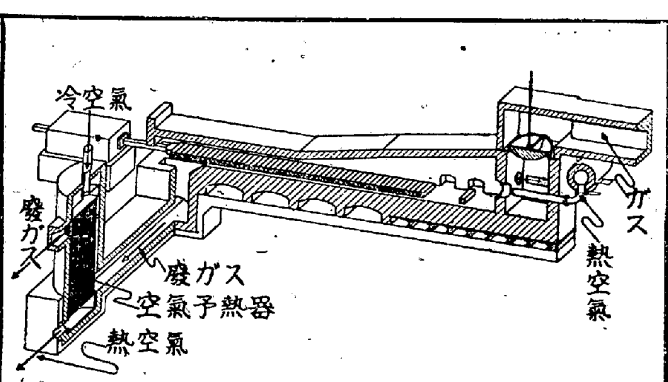
炉壁から逃げる莫大な熱損失は防止されてゐますか?

簡易な 熱管理の合理化 { 燃料の節約  
 確実な 加熱時間の短縮  
 炉内温度の均斉

**ISOLITE**

イソライト工業株式會社

本社 石川縣七尾市和倉驛前  
 工場 電話和倉 66 番  
 東京 東京都千代田區神田鍛冶町一の二  
 營業所 (太洋ビル) 電話神田 (25)1793番  
 大阪 大阪市西區土佐堀船町二三 (大阪  
 營業所 商工ビル) 電話土佐堀 (44)2748番  
 九州出張所 福岡市竹若町三五



廢熱ノ回收ナクシテ熱管理ナシ

廢熱回收裝置 (レキユペレーター・リジエネレーター) 附工業用爐設計施工. 廢熱回收裝置取付 = 依ル既設工業用爐ノ改造工事. 熱ノ有効利用 = 關スル設計及工事一般.

仙波興業株式會社

東京都中央區槇町三丁目一番地  
 電話 京橋 (56) 3380 番