

Cr Mo V 鋼の高温強度に及ぼす各種元素の影響

Effect of Various Elements on the High Temperature Strength of Cr Mo V Steel

佐々木良一*
Ryōichi Sasaki

内 容 梗 概

Cr Mo V 鋼のクリープ破断強度に及ぼす C, Cr, Mo, V および Al の影響を調べるため、0.11~0.29% C, 0.62~2.54% Cr, 0.07~1.40% Mo, 0.02~0.24% V, 0~0.21% Al の範囲で 5 群 22 種の試料を溶製して実験を行ない、次のような結果を得た。

C, V, Mo の添加はクリープ破断強度を高める。Mo の場合、550°C では 0.8% 付近で最大値を示し、600°C では 0.8~1.35% の範囲における変化は小さい。Al の添加は破断強度にほとんど影響を与えない。Cr の添加は、衝風冷焼戻し材では 1% Cr で最大値を示し、これより Cr が増すと破断強度は低下し、炉冷焼戻し材では Cr 量の増加とともに破断強度は高くなる。

1. 緒 言

Cr Mo V 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、タービン用部材に広く使用されている。低合金鋼の高温強度に及ぼす C, Cr, Mo, V など諸元素の影響については、従来から多くの研究⁽¹⁾が行なわれていて、定性的におおよそわかっているが、Cr Mo V 鋼についてこれら諸元素の量が標準組成付近で変化した場合にどの程度高温強度に影響があるが明らかでない。また、一般に Al の使用は禁止ないし極度に制限されているが、高温強度に及ぼす Al の影響は明らかでない。よって、Cr Mo V 鋼をベースとして C, Cr, Mo, V および Al 量を変えた試料を溶製し、高温強度に及ぼすこれら元素の影響を調べた。

なお、よく知られているように溶接関係においては、熱影響部の最高かたさ、溶着鋼の引張強さなどを C_{eq} として組成で表わす実験式が作られ広く活用されており⁽²⁾、また、ある種のタービンシャフト材において、靱性(じんせい)値と組成、結晶粒度、焼戻温度の関

係を実験式で表わすことが試みられている⁽³⁾ので、本研究の結果得られたクリープ破断強度と化学組成間の実験式作成を試みた。

2. 試料および実験

2.1 試 料

高周波溶解炉で Cr Mo V 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 0.6~2.5%, 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。第 1 表に試料の組成と結晶粒度を示す。20 mmφ に鍛伸し、長さ約 100 mm に切断後 1,025°C × 2 時間加熱し、衝風冷却(約 3,000°C/h) および炉中冷却(約 100°C/h) し、室温まで冷却後 695°C × 20 時間焼戻して炉冷した。これから引張およびクリープ破断試験片を採取した。

2.2 実 験

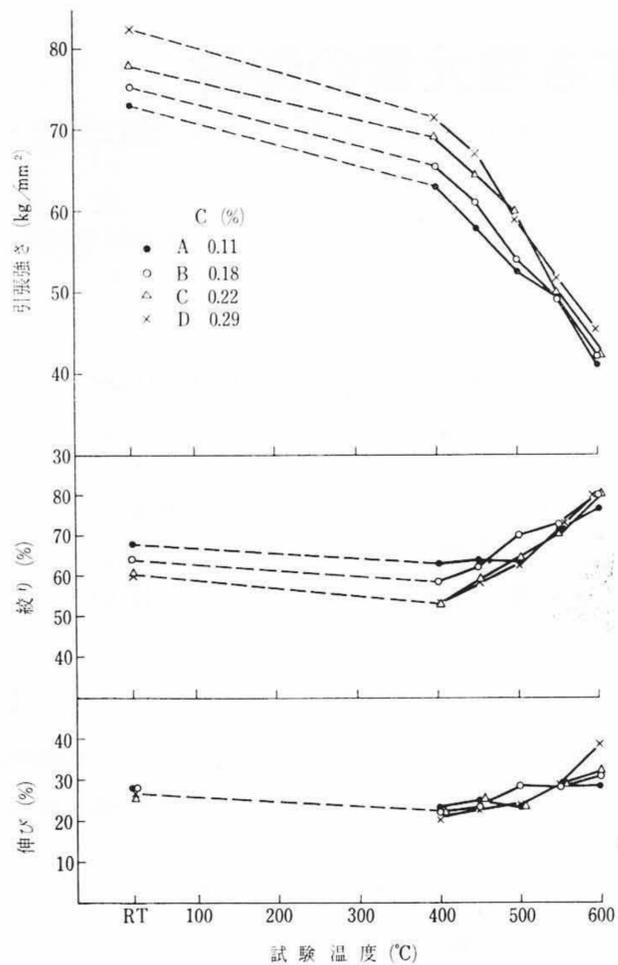
20 t アムスラ試験機を用い、平行部直径 8 mmφ、標点間隔 28 mm

第 1 表 試料の化学組成, クリープ破断強度, 結晶粒度

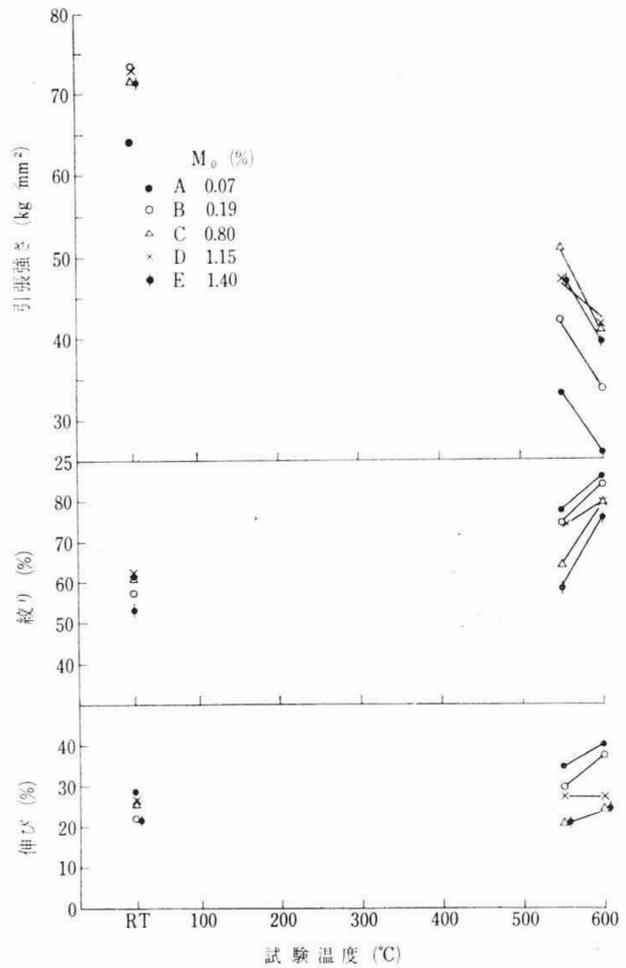
試 番	組 成 (%)							V/C	ク リ ー プ 破 断 強 度 (kg/mm ²)					結 晶 粒 度 No.
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Al		R.S. 5×1,000	R.S. 5×10,000	R.S. 6×1,000	R.S.F 5×1,000	R.S.F 6×1,000	
6 A	0.11	0.82	0.80	1.02	1.14	0.20	0	1.81	22.5	18.0	13.2	12.5	9.1	5~6
6 B	0.18	0.73	0.78	1.02	1.13	0.22	0	1.22	23.0	19.0	12.8	14.8	10.3	6
6 C	0.22	0.77	0.76	1.04	1.10	0.22	0	1.00	21.0	16.0	13.5	16.5	12.1	6~7
6 D	0.29	0.76	0.76	0.99	1.14	0.21	0	0.72	26.5	22.0	15.0	21.5	14.8	6~7
8 A	0.18	0.81	0.77	0.62	1.22	0.27	0	1.50	21.5	—	13.8	—	—	5
8 B	0.18	0.84	0.75	1.55	1.19	0.26	0	1.44	19.3	—	13.7	16.5	10.9	5~6
8 C	0.19	0.78	0.76	2.07	1.19	0.26	0	1.37	17.5	13.5	12.2	18.0	10.3	5~6
8 D	0.18	0.77	0.71	2.54	1.12	0.26	0	1.44	15.2	11.5	10.8	—	—	5~6
7 A	0.19	0.76	0.68	1.00	0.07	0.24	0	1.33	15.1	—	9.0	—	—	5~6
7 B	0.20	0.74	0.68	0.97	0.19	0.22	0	1.10	20.1	17.2	12.0	—	—	5~6
7 C	0.19	0.67	0.66	0.96	0.80	0.23	0	1.21	27.3	16.0	16.5	16.5	10.6	6
7 D	0.18	0.73	0.65	0.96	1.15	0.22	0	1.22	26.0	16.0	15.1	16.5	10.3	5~6
7 E	0.19	0.67	0.66	0.96	1.40	0.24	0	1.26	22.5	—	16.1	—	—	5~6
4 A	0.20	0.68	0.63	1.01	1.18	0.02	0	0.01	20.5	15.3	12.0	13.7	9.2	5~6
4 B	0.22	0.68	0.64	1.03	1.18	0.09	0	0.04	20.5	16.1	12.1	15.1	10.0	5~6
4 C	0.22	0.67	0.64	1.02	1.21	0.21	0	0.95	23.0	—	13.7	—	—	5~6
4 D	0.22	0.61	0.62	1.02	1.15	0.24	0	1.09	25.7	21.6	15.0	19.5	—	6~7
9 C	0.20	0.65	0.83	1.07	1.17	0.18	0	0.90	23.0	16.5	12.7	16.2	—	5~6
5 A	0.23	0.63	0.81	0.97	1.20	0.17	0	0.74	22.3	14.5	12.5	21.0	12.8	5~6
5 B	0.22	0.63	0.84	0.96	1.20	0.16	0.09	0.72	19.5	13.5	12.5	21.0	12.4	6~7
5 C	0.22	0.64	0.86	0.97	1.19	0.19	0.18	0.87	22.3	14.5	11.7	20.0	14.6	7~8
5 D	0.21	0.64	0.88	0.96	1.20	0.19	0.21	0.90	22.5	—	12.5	22.0	14.6	7~8

R.S. 5×1,000 1,025°C 衝風冷, 695°C×20 h 焼戻し材, 550°C×1,000 h 強度
 R.S. 5×10,000 " 695°C×20 h 焼戻し材, 550°C×10,000 h 強度
 R.S. 6×1,000 " 695°C×20 h 焼戻し材, 600°C×1,000 h 強度
 R.S.F 5×1,000 1,025°C 炉冷, 695°C×20 h 焼戻し材, 550°C×1,000 h 強度
 R.S.F 6×1,000 695°C×20 h 焼戻し材, 600°C×1,000 h 強度

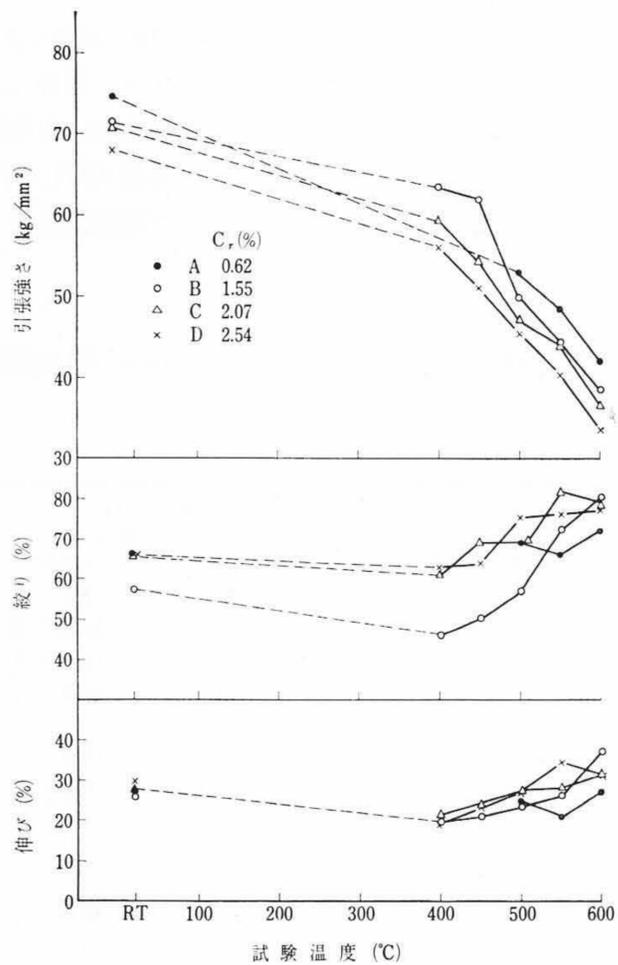
* 日立製作所日立研究所



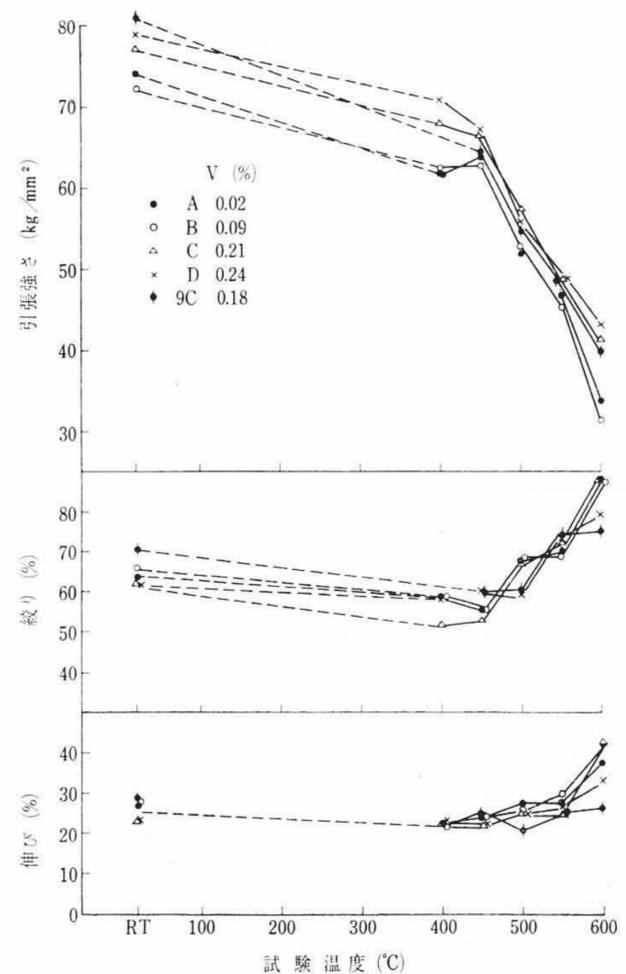
1,025°C 衝風冷, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) Cr=1.0, Mo=1.1, V=0.21
第1図 No.6 材の高温引張試験結果



1,025°C 衝風冷, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.19, Cr=0.97, V=0.23
第3図 No.7 材の高温引張試験結果



1,025°C 衝風冷, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.18, Mo=1.20, V=0.26
第2図 No.8 材の高温引張試験結果



1,025°C 衝風冷, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.21, Cr=1.03, Mo=1.18
第4図 No.4 および No.9 材の高温引張試験結果

の試験片により、室温および450~600°Cで引張試験を行なった。クリープ破断試験は、主として6レバー1本つり形のマルチプルクリープ破断試験機を用い、平行部直径6mmφ、標点間隔30mmの試験片によって実施した。

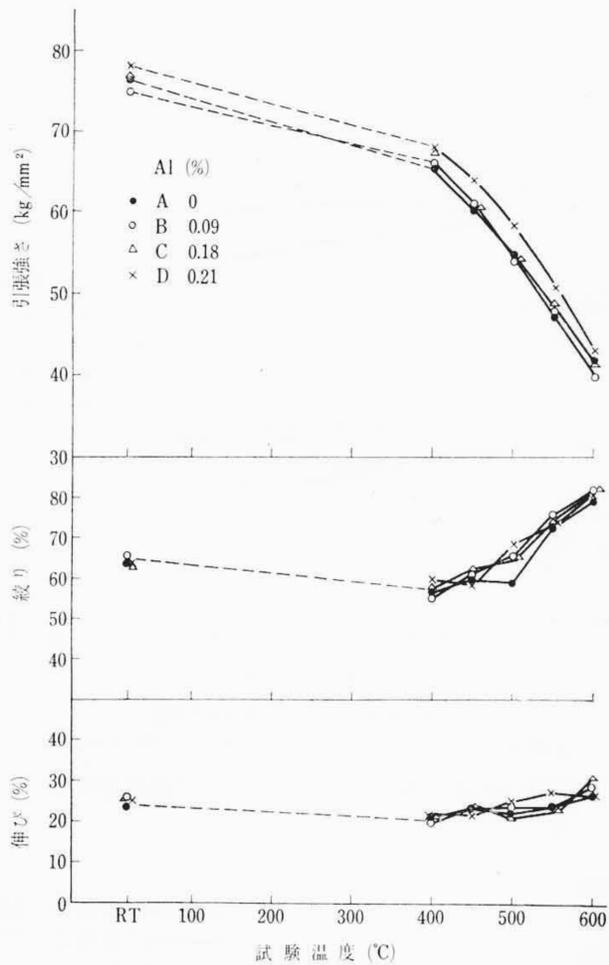
3. 実験結果

3.1 引張試験結果

第1~5図は衝風冷焼戻し材の引張試験結果を示す。第1図はC

量を変えたNo.6材の試験結果で、C量の増加とともに、室温および500°Cまでの引張強さは高くなるが、550°C以上ではC量による差はきわめて小さい。また室温の伸びがC量の高いものほどやや低いことを除くと、伸びおよび絞りはC量が変わってもあまり変化しない。

第2図はCr量を変えたNo.8材の試験結果で、引張強さはCr量の低いものが最も高く、Cr量の増加とともに室温、高温ともに低下し、伸びにはCr量による変化が認められないが、絞りはCr1.55%



1,025°C 衝風冷, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.21, Cr=0.97, Mo=1.20, V=0.18

第5図 No. 5 材の高温引張試験結果

の 8B が全体にやや低い。

第3図は Mo 量を変えた No. 7 材の試験結果で、引張強さは Mo を含まないものに比べ、Mo を含むものは高温で高く、室温では Mo 0.19% の 7B と Mo 0.8% 以上含むものとの差が認められないが、550°C 以上では Mo の影響は顕著である。伸びおよび絞りは引張強さとほぼ逆の関係にある。

第4図は V 量を変えた No. 4 および No. 9 材の試験結果で、室温では V 量との関係が不規則であるが、高温では V が 0.02% および 0.09% の低 V グループと V が 0.18~0.24% の高 V グループにわかれ、V の高いほうが高い。

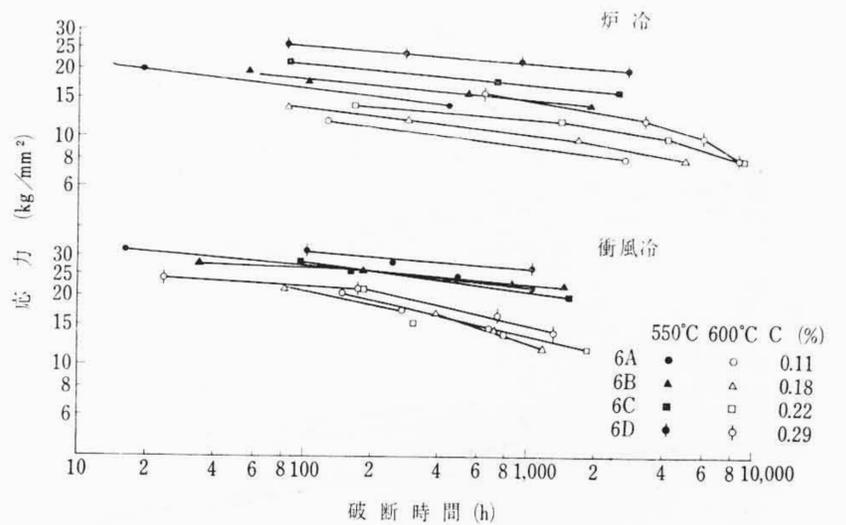
第5図は Al 量を変えた No. 5 材の試験結果で、引張強さは Al を 0.21% 含む 5D が全体にやや高いが、その他はほとんど同一であり、伸びおよび絞りは Al 量によってほとんど変わらない。

炉冷焼戻し材の試験結果は省略するが、およその傾向は次のようである。C 量を変えた結果では、C 量の高いほうが引張強さは高く、伸びおよび絞りは小さく、衝風冷焼戻し材よりも C 量による差が大きい。Cr 量が 0.96~2.07% の範囲では室温の引張強さ、伸びおよび絞りにほとんど影響がなく、衝風冷焼戻し材と比べると室温の引張強さは衝風冷焼戻し材が高く、高温では両者の差が小さくなり、600°C では両者は等しく、また伸びおよび絞りは両者ほとんど差がない。

3.2 クリープ破断試験結果

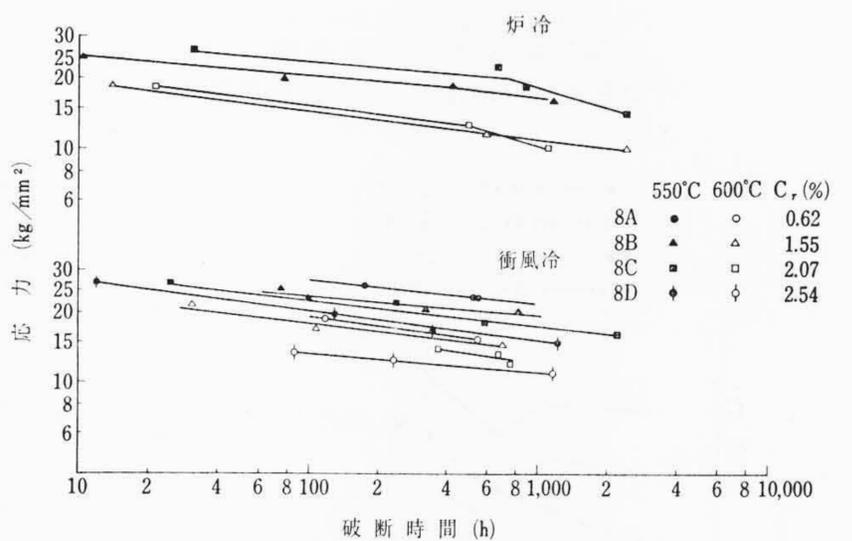
第6~10図はクリープ破断試験結果を、第11~15図はこれをクリープ破断強度に及ぼす各元素の影響として示してある。

第6図と第11図によって C の影響をみると、C 量の増加とともにクリープ破断強度は増し、特に 550°C ではその影響が大きく、600°C では影響が小さい。600°C の長時間側では C 量の高いもの必ずしも強いとはいえない。炉冷焼戻し材と衝風冷焼戻し材とを比べると一般に後者のほう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くなり、600°C、10,000 時間強度では両者はほとんど差がない。また 600°C では C 量の増加とともに熱処理による差は小さくなる。破断伸びは炉冷焼戻し



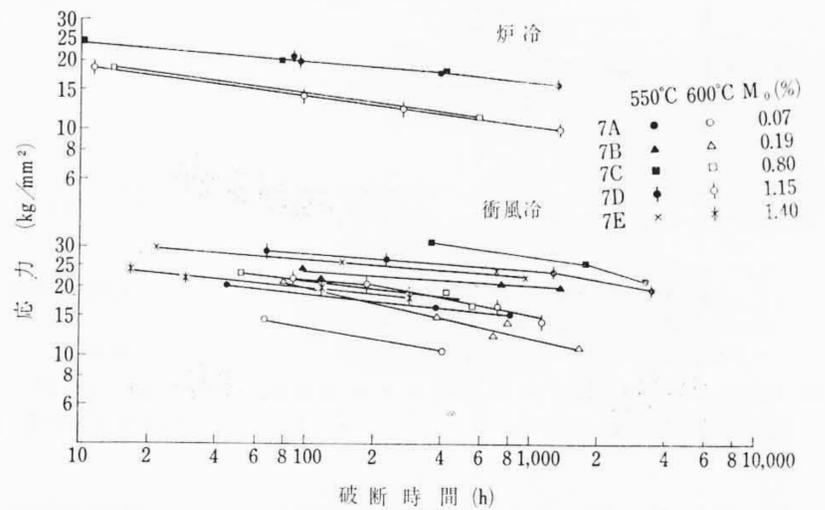
1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) Cr=1.0, Mo=1.1, V=0.21

第6図 No. 6 材のクリープ破断線図



1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.18, Mo=1.20, V=0.26

第7図 No. 8 材のクリープ破断線図

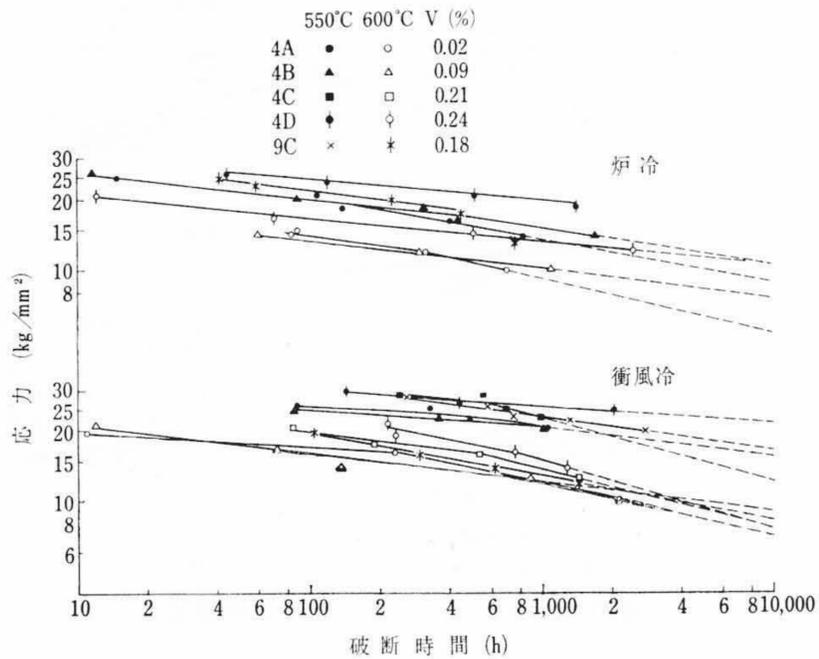


1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.19, Cr=0.97, V=0.23

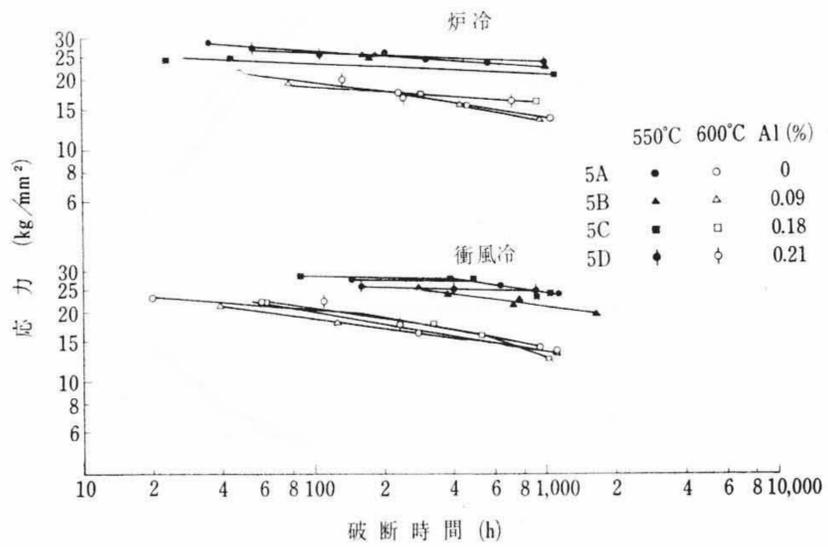
第8図 No. 7 材のクリープ破断線図

し材のほうが衝風冷焼戻し材よりも大きく、550°C で試験したものより 600°C で試験したもののほうが小さく、炉冷焼戻し材では C 量の高いものが伸びが小さい傾向にある。

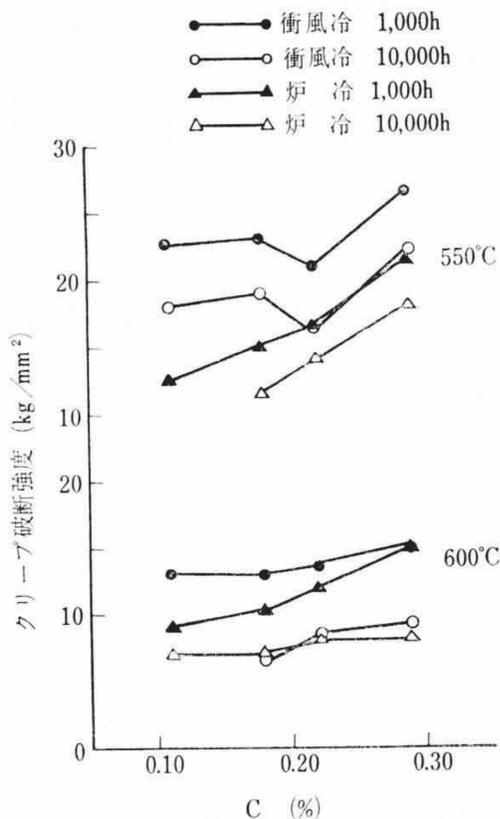
第7図と第12図で Cr の影響をみると、衝風冷焼戻し材と炉冷焼戻し材とはまったく異なる傾向を示している。衝風冷焼戻し材のクリープ破断強度は 550°C では、Cr 1% のものが最も高く、1% 以上では Cr の増加とともに低下し、600°C では Cr 0.6~1.55% まであまり変わらず、それ以上の Cr 量では同様低下する。これに対し炉冷焼戻し材のクリープ破断強度は 550°C では Cr 量の増加により高くなり、600°C では Cr 量によってあまり変わらない。なお Cr 量の高いほうが破断伸びが大きい。



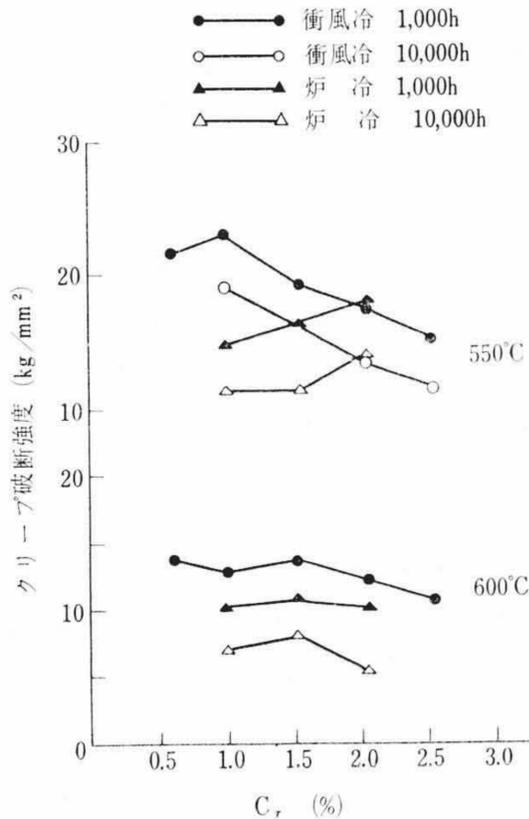
1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.21, Cr=1.03, Mo=1.18
第9図 No.4材のクリープ破断線図



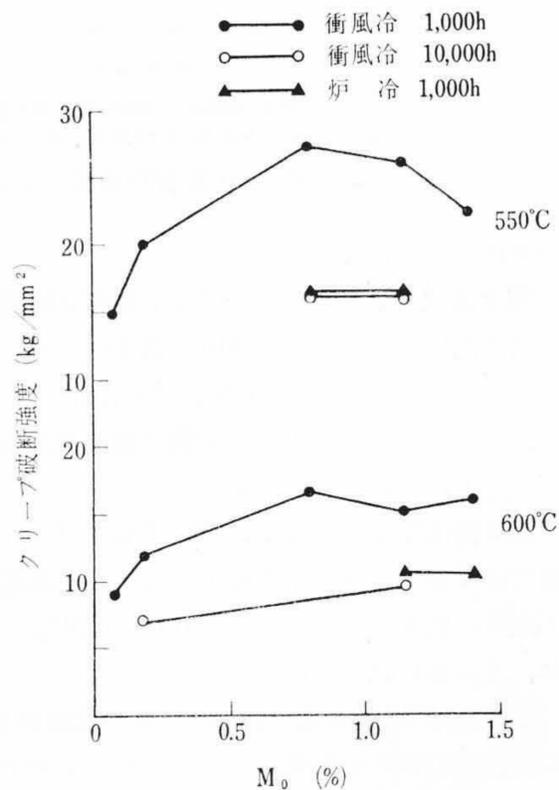
1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し
主組成(%) C=0.22, Cr=0.97, Mo=1.20, V=0.18
第10図 No.5材のクリープ破断線図



1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し材
10,000 時間強度は外挿推定値
主組成(%) Cr=1.0, Mo=1.1, V=0.21
第11図 1Cr1Mo1/4V鋼のクリープ破断強度に及ぼすCの影響



1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し材
10,000 時間強度は外挿推定値
主組成(%) C=0.18, Mo=1.20, V=0.26
第12図 CrMoV鋼のクリープ破断強度に及ぼすCrの影響



1,025°C 焼準, 695°C×20 時間焼戻し材
10,000 時間強度は外挿推定値
主組成(%) C=0.19, Cr=0.97, V=0.23
第13図 CrMoV鋼のクリープ破断強度に及ぼすMoの影響

第8図と第13図とによってMoの影響をみると、衝風冷焼戻し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Mo0.8~1.35%の範囲ではあまり変わらない。炉冷焼戻し材は衝風冷焼戻し材に比べクリープ破断強度はかなり低い。

第9図と第14図によってVの影響をみると、クリープ破断強度は衝風冷焼戻し材および炉冷焼戻し材ともにVの増加とともに高くなり、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によってほとんど変わらないようである。550°Cでは衝風冷焼戻し材は炉冷焼戻し材よりもクリープ破断強度が著しく高く、衝風冷焼戻し材の10,000時間強度に炉冷焼戻し材の1,000時間強度がようやく匹敵する程度である。

第10図と第15図に示すように、クリープ破断強度に及ぼすAlの影響は認めがたく、また炉冷焼戻し材と衝風冷焼戻し材との差もほとんど認められない。伸びおよび絞りはAlを含むものがやや低

いようで、特に炉冷焼戻し材ではAlを含むものは低い。

4. 実験式作成の試み

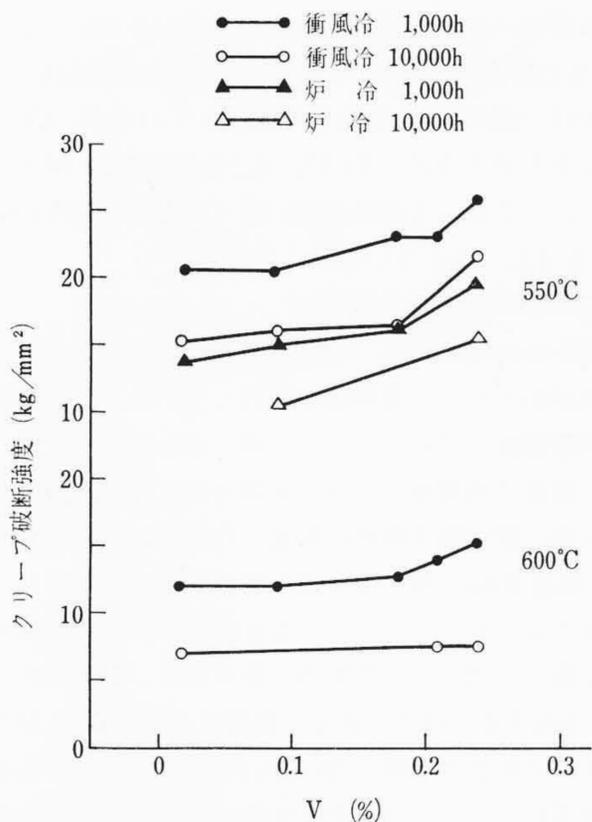
4.1 考え方

クリープ破断強度に及ぼす各元素の影響は、考えている組成範囲では近似的に直線的であると仮定する。広い組成範囲にわたって直線性を仮定することは無理もあるが、小範囲に限定すればすべての変化は直線で近似し得るであろう。よってクリープ破断強度R.S.は次式で表わされるものと仮定した。

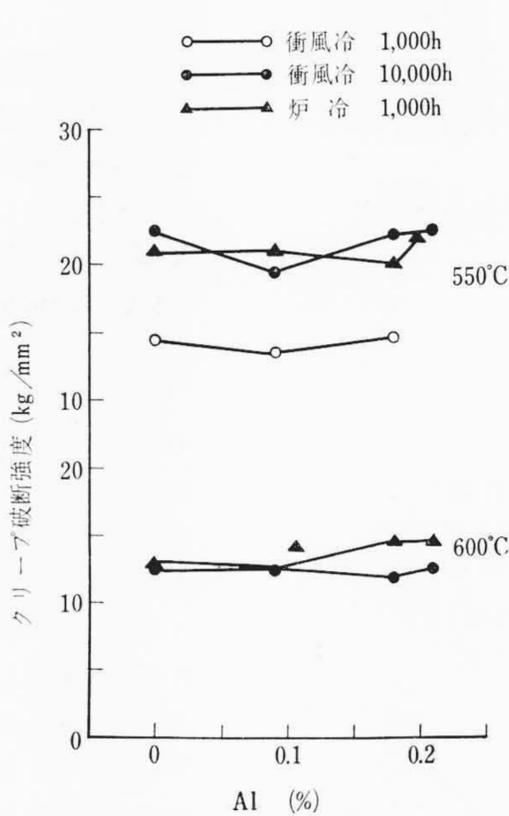
$$R.S. = a_1 C + a_2 Si + a_3 Mn + a_4 f(Cr) + a_5 f(Mo) + a_6 V + a_7 Al + a_8 \left(\frac{V}{C}\right) + a_m \quad (\text{kg/mm}^2) \dots (1)$$

C, Si, Mn, Cr, Mo, V, Alは重量(%)を示す。

衝風冷焼戻し材の550°Cの強度は第12図に示すように、Cr1%を境にその傾向が異なるので、 $f(Cr) = |Cr - 1|$ と仮定し、その他は



第14図 Cr Mo V 鋼のクリープ破断強度に及ぼすVの影響



第15図 Cr Mo V 鋼のクリープ破断強度に及ぼすAlの影響

$f(\text{Cr}) = \text{Cr}$ とした。Mo についても衝風冷焼戻し試料の 550°C の強度は 0.8% 付近を境に傾向が異なるので、 $f(\text{Mo}) = |\text{Mo} - 0.8|$ と仮定し、その他は $f(\text{Mo}) = \text{Mo}$ とした。| | は絶対値を表わす。また厳密に考えると各元素間にいろいろな交互作用が存在するはずであるが、これがどういう形でクリープ破断強度に影響を与えているか十分明らかでない。考えている比較的狭い組成範囲では、交互作用は上式の a_m 項に含まれるものとし、特に重要と考えられる V と C の交互作用のみを、両者の比として取りあげた。

実験値が n 個あれば、これを(1)式に当てはめると n 個の連記式が得られる。これから最小自乗法を用いて標準方程式を求め、これを解いてその根を最も確からしい $a_1 \sim a_8$, a_m の値とすれば実験式が得られる。この計算には相当な手数がかかるので、電子計算機 (HITAC 103) を利用した。

4.2 Cr Mo V 鋼のクリープ破断強度—組成間の実験式

第1表に試料の組成およびクリープ破断強度を示した。この実験値を用い、前述の考え方で実験式を求めた。(2)~(5)式が得られた実験式である。

衝風冷焼戻し材

$$\begin{aligned}
 &550^\circ\text{C}, 1,000 \text{ 時間破断強度 (kg/mm}^2\text{)} : R. S. 5 \times 10^3 \\
 &R. S. 5 \times 10^3 = 47.35 C - 4.19 Si - 11.36 Mn - 5.90 \\
 &\quad \times |Cr - 1| - 7.87 \times |Mo - 0.8| - 12.83 V \\
 &\quad + 2.11 Al + 6.28 \left(\frac{V}{C}\right) + 24.11 \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

衝風冷焼戻し材

$$\begin{aligned}
 &550^\circ\text{C}, 10,000 \text{ 時間破断強度 (kg/mm}^2\text{)} : R. S. 5 \times 10^4 \\
 &R. S. 5 \times 10^4 = 60.62 C + 4.99 Si - 15.29 Mn - 4.98 \\
 &\quad \times |Cr - 1| + 7.35 \times |Mo - 0.8| - 16.45 V \\
 &\quad - 11.54 Al + 7.08 \left(\frac{V}{C}\right) + 6.86 \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

衝風冷焼戻し材

$$\begin{aligned}
 &600^\circ\text{C}, 1,000 \text{ 時間破断強度 (kg/mm}^2\text{)} : R. S. 6 \times 10^3 \\
 &R. S. 6 \times 10^3 = 23.22 C - 1.64 Si - 10.77 Mn - 2.07 Cr \\
 &\quad - 1.83 Mo - 2.77 V - 0.51 Al
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 3.32 \left(\frac{V}{C}\right) + 19.49 \\
 &\dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

炉冷焼戻し材

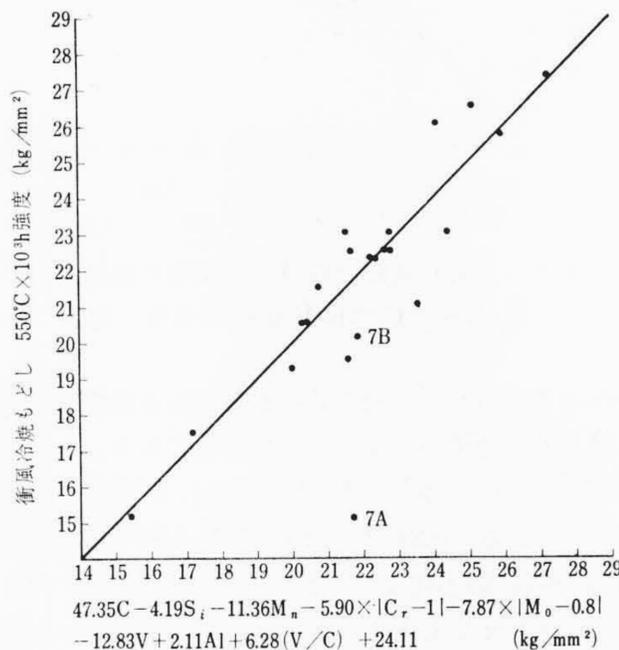
$$\begin{aligned}
 &550^\circ\text{C}, 1,000 \text{ 時間破断強度} \\
 &\text{(kg/mm}^2\text{)} : R. S. F5 \times 10^3 \\
 &R. S. F5 \times 10^3 = 92.64 C - 16.79 Si \\
 &\quad - 1.37 Mn + 1.87 Cr \\
 &\quad + 3.73 Mo - 23.11 V \\
 &\quad + 9.07 Al + 7.49 \left(\frac{V}{C}\right) \\
 &\quad + 2.10 \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

第16~19図はこれらの実験式から算出した計算値と実測値との関係を示す。特に Mo の低い試番 7A と 7B を除いては実測値と計算値は比較的よい一致を示す。

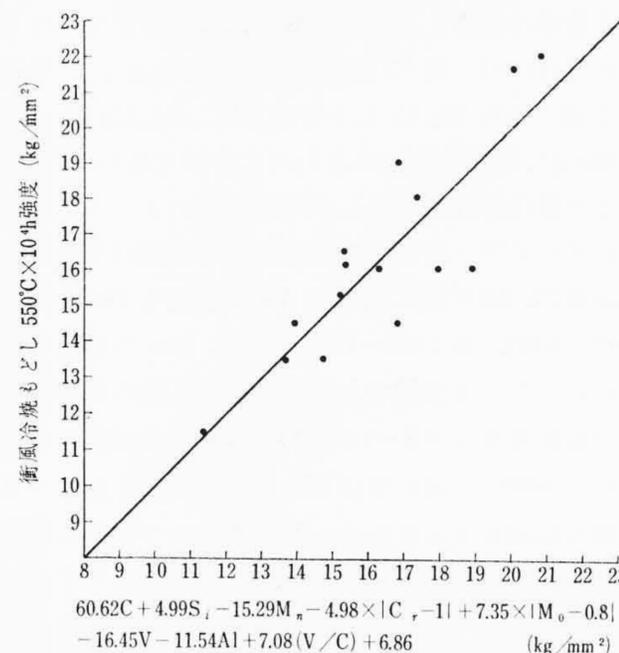
5. 検 討

5.1 各種元素の影響

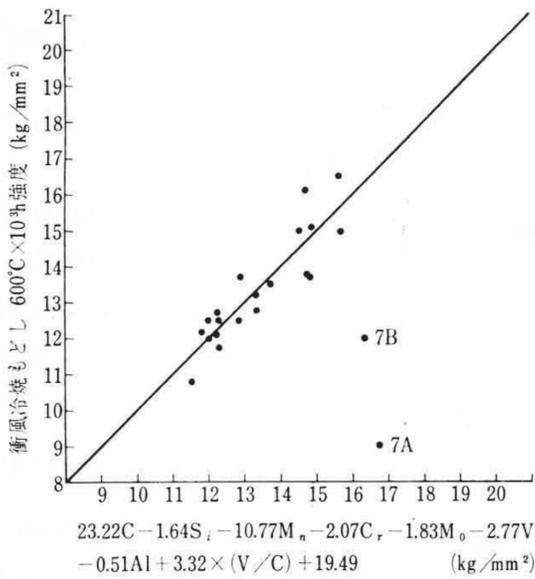
クリープ破断強度に及ぼすCの影響は 600°C では小さくなり、600°C の長時間側では熱処理による差もなくなる。これは高温長時間の試験では試験中に炭化物の凝集



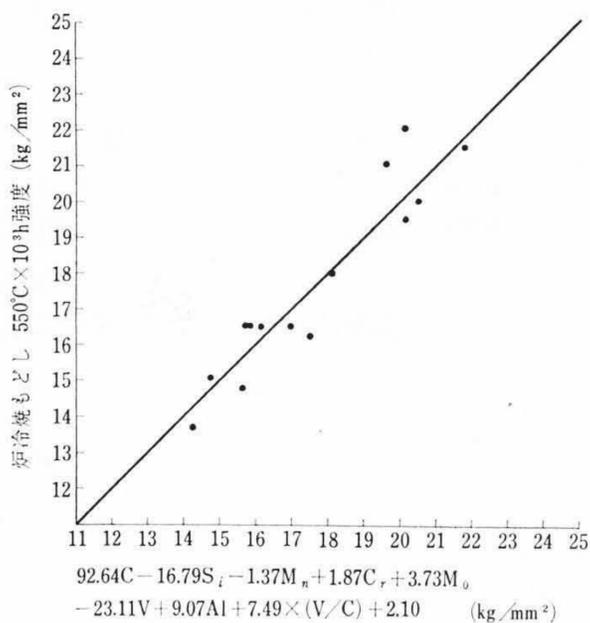
第16図 衝風冷焼戻し材



第17図 Cr Mo V 鋼衝風冷焼戻し材



クリープ破断強度計算値と実測値の比較(3)
第18図 Cr Mo V 鋼衝風冷焼戻し材



クリープ破断強度計算値と実測値の比較(4)
第19図 Cr Mo V 鋼炉冷焼戻し材

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。

Crの影響については衝風冷焼戻しの群と、炉冷焼戻しの群とでは傾向が異なっている。0.2C 0.5Mo 0.5W 0.8V 鋼の焼入焼戻し材ではCr 1%付近に最大強度の点があって、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、すでにColbeck氏⁽⁴⁾らによって報告されていて、本実験結果も550°Cでは定性的に一致する。しかし炉冷焼戻し材の場合は高Cr側のほうが強く、Cr 2%では炉冷焼戻し材と衝風冷焼戻し材との強度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M₃C形が大部分で、Crが高くなり2%Cr以上ではM₇C₃、M₂₃C₆、Mo₂C、M₆C形の炭化物が現われ、炭化物反応はきわめて複雑となり、試験中にも変化が進み、この変化の様相ははじめの熱処理によってかなり変わることが知られていて⁽⁵⁾、炭化物の析出形態の相違がその原因と想像される。1Cr 0.2C 0.8V 鋼に及ぼすMoの影響をGemmilとMurray氏⁽⁶⁾が調べ、600°Cでは0.8~1.0%付近にMoの効果の山があることを明らかにした。本実験でも衝風冷焼戻し材の550°Cの1,000時間クリープ破断強度は0.8~1.0% Mo付近に山が出て定性的に一致した。しかし600°CにおいてはMo量の増加とともにクリープ破断強度は増加の傾向を示している。Vの影響については衝風冷焼戻しおよび炉冷焼戻しともに550°CではVが高いほどクリープ破断強度は高くなり、文献の一般的傾向と一致する。Gemmil氏らは0.2C 1Cr 1Mo 鋼ではVは0.7%付近までクリープ破断強度を増すことを報告している。Cr Mo V 鋼に及ぼすAlの影響について報告され

たものはないが、本研究の結果では高温強度に影響が少ないことを確認した。炭素鋼またはMo鋼ではAl脱酸した材料は黒鉛化しやすく、高温用材料では一般にAlは極度に制限されているが、Crの添加は黒鉛化防止にきわめて有効でCr 1%以上含む鋼ではAlを用いても黒鉛化しない。したがって高温強度に限って考えればCr Mo V鋼にAlを用いてもさしつかえないと考えられる。

5.2 Cr Mo V 鋼の実験式に関する検討

かなり大胆な仮定から出発したが、第16~19図に示すように、一次多項式の実験式がかなりよく実測値を表わしている。化学分析の誤差、クリープ破断特性のばらつきなどを考えるとかなりよい一致であるといえる。冶金学的見地からは元素間の交互作用が種々存在し得るわけであるが、狭い組成範囲に限定した場合、交互作用の大部分は常数項 a_m に含まれ、特に取り出して独立項にしなければならないものは数多くないといえる。このことは次のように考えられる。A元素とB元素との間に交互作用 $A \times B$ があり、B元素がA元素とともに $B_0\%$ 存在すると特性に著しく影響するが、 $B_0\%$ 以上Bを含んでも $A \times B$ にはあまり影響しないというような関係があるのではないかと想像される。そうであるとすれば、組成範囲を限定して、たまたま $B_0\%$ 以上から $B_1\%$ までを取り扱ったとすれば、 $A \times B$ は常数項 a_m にはいってしまうであろう。したがって、得られた実験式を、実験した組成範囲外に適用することは非常に危険であって、実験式の成立範囲について十分な注意が必要である。

(2)~(5)の実験式を見るとCの係数が大きく、Cが非常に大きな影響を与えるように受取られやすいが、V/C項があり、Cが増減するに伴い、V/Cが減増し、これと差引分だけが効いてくるのでCの影響はそれほど大きくはない。ほかの成分は一定として、(1)式のうえからCの影響を考察してみよう。Cの影響 $f(c)$ は

$$f(c) = a_1 C + a_8 \left(\frac{V}{C} \right) \dots\dots\dots (6)$$

と表わせる。これをCについて微分すると

$$\frac{df(c)}{dc} = a_1 - \frac{a_8 V}{C^2} \dots\dots\dots (7)$$

となる。 $df(c)/dc=0$ と置いてC量の臨界値 C_0 を求めると

$$C_0 = \sqrt{\frac{a_8 V}{a_1}} \dots\dots\dots (8)$$

となる。すなわち、一定のV量に対してはC量が $C_0\%$ を境にして、これより少なければ、C量を増すと $f(c)$ は小さくなり、 C_0 より多ければC量を増せば $f(c)$ は大きくなる。したがってCの影響は $C_0\%$ を境に逆の傾向を示すことになる。しかし、 $C_0\%$ 以下ではCが少ないほどクリープ破断強度が大きい (Cが0%では無限大となる) ということはあり得ないことで、従来の技術的知見と相反するので、 C_0 は本実験式が成立する組成範囲のおおよそのC下限値を示しているものと考えられる。

Vの影響は、V項が負となっていて第14図の結果および常識と反するように受取られやすいがV/C項の効き方が大きいので、これとの相殺において考えなければならない。(1)式においてVだけに関係するものを取り出すと $V(a_8/C - a_6)$ となる。Cが a_8/a_6 より大なれば()内は負となり、Vが増すと強度は減少し、Cが a_8/a_6 より小さければVが増すと強度は増加する。このCの限界値は(2)~(5)式に対して0.32~1.20%となる。実験したCの組成範囲上限が0.29%であることを考えると、本実験式はC 0.30%までは成立しうるものと考えられる。

(2)~(5)式でMoの係数が負または比較的小さい正の値となっていて、Moはクリープ破断強度に非常に効くという常識とやや違っている。Mo含有量の少ない7A、7Bは実験式作成に当たって除外して計算したので、7A、7Bの測定値は実験式からかなりはずれ

ていて、本実験式は Mo の低いところでは成立しない。1Cr 1/4 V 鋼に対し、Mo が一定量加えられることは著しい効果を与えるが、一定量以上では Mo の効果は飽和する傾向にあり、取り扱った Mo 1% 付近では Mo の効果は飽和しており、その効果の大部分は常数項 a_m に含まれ、そのため Mo 項の係数が小さく出てきたのである。

6. 結 言

以上により Cr Mo V 鋼の高温強度に及ぼす C, Cr, Mo, V および Al の影響を調べた。結果は要約すると次のようである。

- (1) C 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 ではその影響が大きく、600°C の長時間側ではその影響は非常に小さい。
- (2) 550°C のクリープ破断強度は、衝風冷焼戻し材では Cr 1% が最も高く、1% 以上では Cr の増加とともに低下し、これに対し炉冷焼戻し材では Cr 量の増加とともに高くなる。
- (3) 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% の範囲における変化は小さい。

- (4) 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 の添加は実験した 0.2% まではクリープ破断強度にほとんど影響を与えない。

終わりにのぞみ、本研究を行なうに当たりご指導くださった日立研究所小野副所長をはじめ、電子計算機のプログラム作成にご協力いただいた技術計算室のかたがたに厚くお礼申し上げますとともに、実験に協力された篠田哲守、高橋武両君の労に対し感謝する。

参 考 文 献

- (1) Smith: ASME Paper, No. 56-A-214 (1957)
- (2) たとえば木原, 鈴木: 高張力鋼の溶接, 溶接叢書 12 巻 16 (1958)
- (3) Boyle, Curran, De Forest, Newhouse: ASTM Paper, No. 81-A (1962)
- (4) Colbeck, Rait: BISI Special Report, No. 43, 107 (1952)
- (5) Baker, Nutting: JISI., 257~269 (July. 1959)
- (6) Gemmil, Murray: ASME Paper, No. 56-A-214, 12-13 (1957)



特許第 279811 号

特 許 の 紹 介



高 砂 常 義・伊 藤 忠 二 郎

空 気 遮 断 器

空気遮断器は回路を遮断する際に、圧縮空気の放出による爆発的な大騒音を発生する。このような大騒音は、人間に対して精神的および肉体的衝撃を与える点から忌み嫌われ、その防止若しくは低減は斯界の強い要望となっている。

この発明は、遮断部におけるノズル形接触子の背後に消音箱を設け、この消音箱に細孔をあけるに当たって面積を細孔の周囲の距離で割った値が 1 mm 以下であるような細孔を多数穿設し、排気ガスをこの細孔を通して外気に放出するようにしたものである。

周知のように絶対圧力が 2 気圧以上の空気がノズルを通して外気に放出される時、ノズルでの流速は最大となって音速に達する。

大気中への放出速度が大きいとき、静止気体と衝突して大なる気流の乱れを生じ騒音が大きい。放出速度を低下すると騒音は著しく低減するので排気ガスを細孔より放出すれば、空気の粘性のために細孔の壁に接近した空気の流速が低下するため騒音も低減する。

また細孔の間隔 d_1 および d_2 が小さいと、細孔からある立体角を

もって噴出している気流が隣接した気流と干渉して流速が十分低下しないので、実験の結果より間隔 d_1, d_2 を細孔の直径の 2~3 倍以上に設定したものである。

こうすることによって細孔から放出する排気ガスの流速は、十分低下し遮断時の騒音を低減することに成功した。

この発明は、東北電力株式会社仙台変電所、関西電力株式会社尼瀬発電所などへ納入した当社の OPD 形 500 A 空気遮断器 (供用電圧 168 kV, 遮断容量 500 MVA) に採用され、遮断時の騒音を 5~10 フォン低下させ好評を博している。(須田)

