

Soc. Mech. Eng., 74 (1952) 5, p. 765~775
 4) R. L. ORR, O. D. SHERBY and J. E. DORN:
 Trans. Amer. Soc. Metal, 46 (1954), p. 113

9Cr-1Mo 鋼の高温強度におよぼす Nb, V, W, Y, Ti, Cu の影響*

(中 Cr 耐熱鋼の研究—II)

日立製作所, 日立研究所 佐々木 良一
 Effect of Nb, V, W, Y, Ti and Cu on High Temperature Strength of 9Cr-1Mo Steel
 (Study of medium Cr heat-resisting steel—II)

Ryoichi SASAKI

1. 緒 言

フェライト系鋼を改良してその許容応力を高める, あるいは使用限界温度を引き上げて, 高価なステンレス鋼の使用量を少なくしようとする目的で, いろいろフェライト系耐熱鋼の開発研究が行なわれている。高温強度としては優れた鋼種が開発されているが^{1)~5)}, これらの多くはかなり速い冷却速度で焼入, 焼戻したときに高強度が得られ, 強度におよぼす冷却速度の影響が大で, 均一な製品が得難く, また溶接性もあまり良くない。

そこで 600~625°C で 18Cr-8Ni ステンレス鋼に匹敵するクリープ破断強度を有し, 熱間加工性, 溶接性, 靱性が良好でかつ焼入冷却速度に鈍感で, 焼入冷却速度が 100°C/hr でも目標のクリープ破断強度が得られるフェライト系耐熱鋼を開発することとした。まず 9Cr1Mo 鋼の高温強度におよぼす Nb, V, W および新金属 Y の複合添加を試み, 低炭素の 9Cr1Mo Nb V W 鋼が油焼入焼戻しにおいては 18Cr8Ni 鋼に匹敵するクリープ破断強度を有することを見出した。しかし, この鋼は 100°C/hr 冷却では焼きが入らずクリープ破断強度はいちじるしく弱い。油焼入焼戻しすれば地に炭化物が一樣に分布するソルバイト組織が得られるが, 100°C/hr 冷却焼戻しではほとんどフェライトとなり, フェライト粒界に炭化物が凝集するためクリープ破断強度が低下するのである。そこで焼入性を改善し, 100°C/hr 冷却でもフェライトの析出が少なく, 全マルテンサイトないしそれに近い組織が得られるようにすれば, 100°C/hr 冷却焼戻しであつてもかなりクリープ破断強度の高いものが得られるであろうと予測された。そこで焼入性を増す元

Table 1. Chemical compositions (%) of specimens (2nd experiment).

No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Nb	V	Other
204	0.07	0.25	0.47	9.49	0.89	—	0.07	0.11	
205	0.07	0.21	0.44	9.29	0.96	—	0.10	0.18	
206	0.09	0.23	0.46	10.01	0.93	—	0.14	0.25	
207	0.09	0.38	0.49	9.62	0.85	—	0.14	0.23	Ti 0.03*
208	0.07	0.42	0.43	9.70	0.84	0.16	0.13	0.24	Ti 0.03*
211	0.07	0.38	0.48	9.33	0.75	0.11	0.10	0.15	
212	0.07	0.38	0.49	9.36	0.76	0.13	0.10	0.19	(Y 0.3†)

* added Ti 0.18%, † adding %.

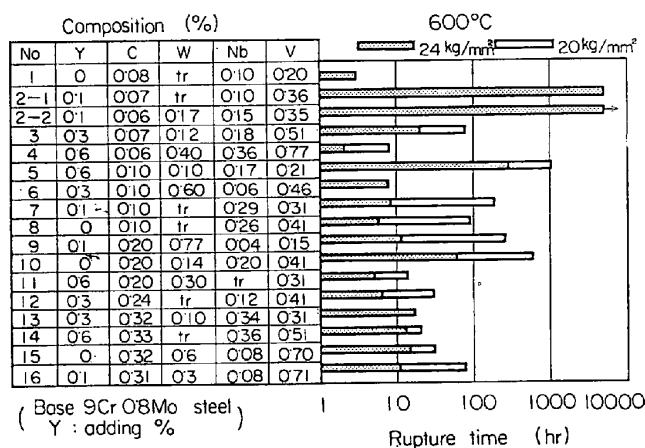


Fig. 1. Creep rupture test results of 1st experiment.

素として Cu を選びその影響を調べた。

2. C, Nb, V, W, Y, Ti の複合添加

2.1 第1次実験

まず 9Cr1Mo 鋼をベースとして C, Nb, V, W, Y の複合添加を試みた。C 0.05~0.30%, Nb 0~0.3%, V 0~0.7%, W 0~0.7% および Y を 0~0.6% の範囲に変えて 17 試料を溶製した。Y は Y22% の Fe-Y 合金を用いて出湯直前に添加したが, 酸化によつて消費され鋼中には添加量の 1/10 位しか残留しない。高周波溶解炉で 8 kg 溶解し, 15 mm 角に鍛伸し, 1100°C 2 hr 油焼入れ, 700°C 2 hr 焼戻し炉冷し, 直径 6 mm φ, 標点距離 30 mm の試験片を採取し 600°C でクリープ破断試験を行なつた。

Fig. 1 は第1次実験のクリープ破断試験結果を示す。C が 0.2~0.3% の試番 9~16 は破断時間が短かく, 試番 1~4, 5~8 の間で検討すると Nb, V, W の多い試料は破断時間が短かく, 試番 2 および 5 が強い。Y 0.3% 以上配合した試料はいずれも破断時間が短かく, Y はクリープ破断強度改善には効果がないことがわかつた。実験値は省略するが試番 3, 6 などの低炭素のものに対し Y 0.3% の添加は衝撃値をいちじるしく高める。

2.2 第2次実験

第1次実験の結果 Y はクリープ破断強度改善に効果がなく, Nb-V の複合または Nb-V-W の複合添加が有効で, また低炭素の方が強度は高いことがわかつた。この結果の確認のため, 溶接性も考慮し, C を 0.08% 付近

Table 2. Chemical compositions (%) of specimens (experiment for effect of Cu).

No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Nb	V	W
9	0.11	0.65	0.51	9.22	0.98	—	—	—	—
02	0.15	0.72	0.57	9.22	0.85	1.00	—	—	—
03	0.13	0.76	0.62	9.05	0.85	1.90	—	—	—
04	0.16	0.72	0.58	9.14	0.80	3.00	—	—	—
213	0.09	0.44	0.47	9.71	0.85	2.20	0.18	0.21	0.13

Table 3. Effect of Cu on the mechanical properties of 9Cr1Mo steels.

No.	Steel	Oil quenched and tempered				100°C/h cooled and tempered			
		Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Charpy impact value (kg-m/cm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Charpy impact value (kg-m/cm ²)
9	9Cr1Mo	72.0	26.4	63.0	15.8	46.7	35.0	60.3	0.5
02	9Cr1Mo1Cu	74.5	27.9	64.0	2.5	67.7	29.3	62.5	1.5
03	9Cr1Mo2Cu	84.0	23.6	64.1	6.4	84.5	24.3	61.0	4.5
04	9Cr1Mo3Cu	86.2	24.5	64.0	10.3	86.0	24.3	61.0	5.0
211	9Cr1MoNbVW	78.5	24.3	73.7	2.9	49.8	35.7	68.8	2.1
213	9Cr1Mo2CuNbVW	77.5	24.0	69.5	8.9	78.0	22.9	69.5	7.9

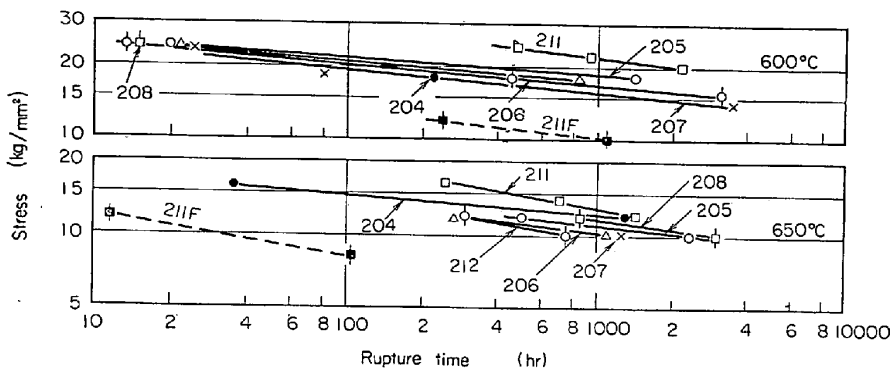


Fig. 2. Creep rupture curves of 2nd experiment.

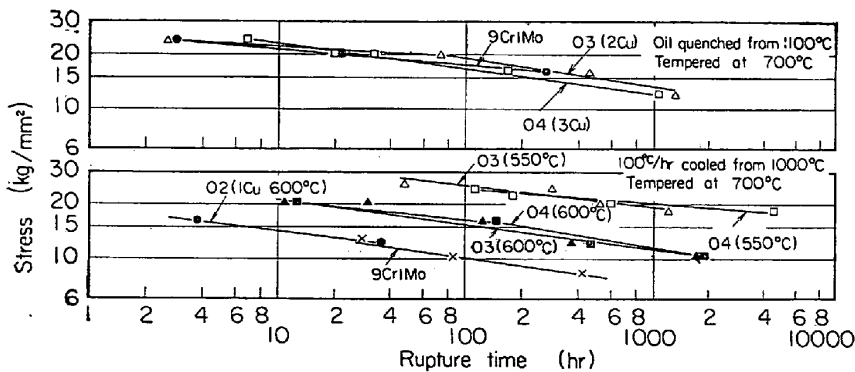


Fig. 3. The effect of Cu on creep rupture strength of 9Cr1Mo steel.

とし、Nb と V の複合添加、および Nb, V, W の複合添加試料を溶製し、また Ti の影響を調べるため微量 Ti の添加を試みた。Table 1 は第 2 次実験試料の化学組成を示す。高周波溶解炉により 60~80 kg 溶解し、17 kg 鋼塊に分注し、分注の過程で Nb, V, W 量を変え、また Ti, Y を添加した。Ti, Y 添加前に Al 0.015% を脱酸に使用した。15 mm 角に鍛伸後 1100°C 2 hr 保持した後油焼入れし、700°C 2 hr 焼戻して 600°C および

650°C でクリープ破断試験を行なった。試番 211 については油焼入れ焼戻しと比較のため、1000°C から 100°C/hr 冷却し、700°C/hr 焼戻したものも試験した。

Fig. 2 は第 2 次実験試料のクリープ破断線図を示す。油焼入れ焼戻し試料では Nb, V および Nb, V, W の複合添加が予想どおり良好なクリープ破断強度を示し、Nb, V, W は 0.2% 前後の複合添加で十分効果があり、試番 206 と 207, 211 と 208 を比較すると Ti の微量添加はクリープ破断強度改善には効果がなく、むしろ若干低下させるが、靱性を著しく改善する。試番 211 は Nb+V+W 量が 0.36% でかつ C も 0.08% と低いにもかかわらず 18Cr8Ni 鋼を上回る強度を示す。また試番 211 と 212 を比較すると、第 1 次実験の結果から推測されたとおり Y の添加はクリープ破断強度を低下させるが、靱性をいちじるしく改善する。100°C/hr 冷却焼戻し材の強度はいちじるしく低く、特殊元素添加の効果はほとんどない。

3. 9Cr1Mo 系鋼におよぼす Cu 添加の影響

Table 2 に示す組成の Cu 添加 9Cr1Mo 系鋼を溶製した。試料は 15 mm 角に鍛伸し、1000°C 2 hr 加熱し 100°C/hr 冷却して、700°C 1 hr 焼戻した炉冷焼戻し、および 1100°C 2 hr 加熱油焼入れ、700°C 2 hr 焼戻し油焼入れ焼戻しの熱処理を施した。実験は炉冷焼戻し材に対する組織および強度によおぼす Cu の効果を調べることに重点を置いた。

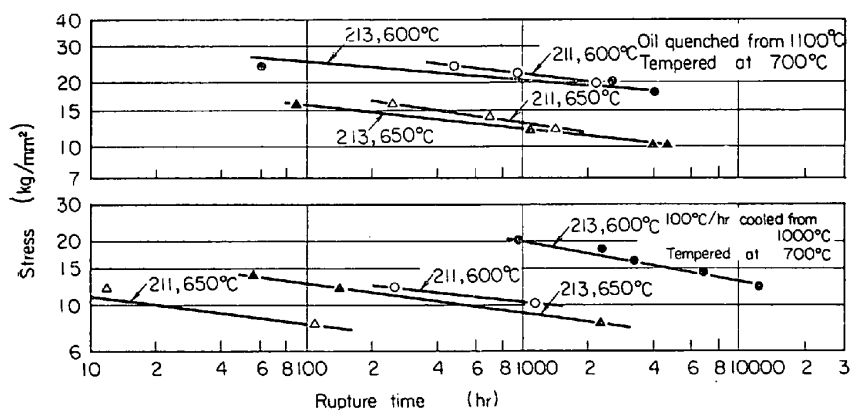


Fig. 4. Creep rupture curves of 9Cr1Mo NbVW steel (211) and 9Cr1Mo2Cu Nb V W steel (213).

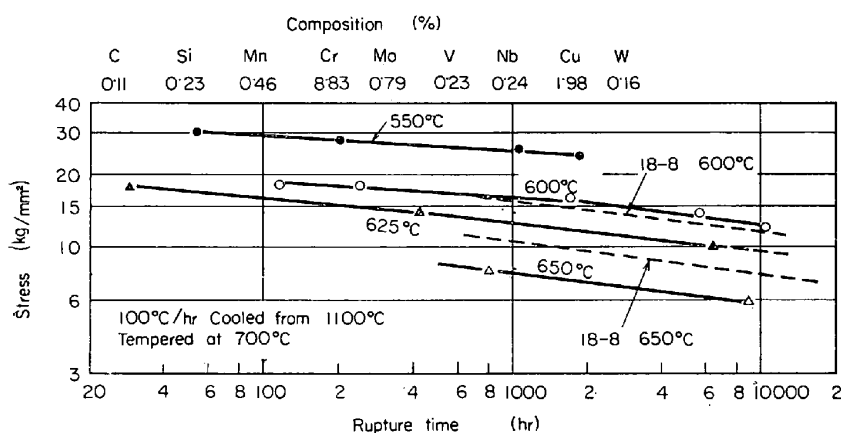


Fig. 5. Creep rupture curves of No. 8319.

9Cr1Mo 鋼に対する Cu の影響：Cu を加えることにより焼入れ性が増し、100°C/hr 冷却におけるフェライトの析出が抑制され、Cu 2% 以上では全マルテンサイト組織となるので、これを焼戻したものは炭化物が一様に分布するソルバイト組織となる。Table 3 は室温の機械的性質を示す。油焼入れ焼戻しにおいては Cu の添加により引張強さは若干増し、伸びが減る。衝撃値は 1% Cu の試番 02 が Cu を含まない試番 9 より低く、さらに Cu が増すと高くなる。炉冷焼戻し材では Cu の添加により伸びは若干低下するが、引張強さおよび衝撃値は著しく高くなる。

Fig. 3 はクリープ破断線図を示す。油焼入れ焼戻しでは Cu の影響は明りようでないが、炉冷焼戻し材では、1% Cu では効果が小さく、2% 以上含むものではその効果が顕著で、Cu を含まない試番 9 の 600°C、1000 hr 破断強度は 7 kg/mm² で 2~3% Cu を含むものは 11~11.5 kg/mm² である。しかしクリープ破断伸びは Cu を含まないものは 20~30% で、Cu 2% 以上含む試番 03, 04 では 10% 前後で、Cu はクリープ破断伸びを低下させる。

9Cr1Mo Nb V W 鋼におよぼす Cu の影響：100°C/hr 冷却の場合無 Cu の試番 211 はほとんどフェライトだけで、粒界に炭化物が凝集した組織を呈するが、Cu の添加により焼入れ性が良くなり、含 Cu の試番 213 では全マルテンサイト組織が得られ、焼戻し後微細な炭化物が一様に分布する組織となる。Table 3 に示したように

Cu 添加により油焼入れ焼戻しでは衝撃値がいちじるしく高くなり、炉冷焼戻しでは引張強さおよび衝撃値が著しく高くなり、伸びおよび絞りは若干減少する。Fig. 4 はクリープ破断線図を示す。油焼入れ焼戻しでは両者の 2000 hr 強度は等しいが、炉冷焼戻しでは Cu の影響は顕著で、無 Cu 鋼では炉冷焼戻しのクリープ破断強度が油焼入れ焼戻しの 1/2 以下に低下するが、含 Cu 鋼では強度の低下は僅少である。

以上の結果新鋼種 9Cr1Mo 2Cu Nb V W 鋼を得たが実用化の見通しを得るため高周波溶解炉で 900 kg 鋼塊を溶製し確性試験を行なった。Fig. 5 はそのクリープ破断強度を示す。100°C/hr 冷却焼戻しにおいて 600~625°C では 18Cr 8 Ni 鋼に匹敵する強度を有することを確認した。

4. 結 言

結果は要約すると次のとおりである。

(1) 油焼入れ焼戻したものについては、C の低い方がクリープ破断強度が高く、0.08% 前後で良い。Nb, V, W は複合添加の場合は多すぎると破断強度を害し、Nb+V または Nb+V+W 量は 0.3~0.6% で十分高い強度を示す。

(2) Ti および Y の添加はクリープ破断強度を低下させるが、靱性を著しく高める。

(3) 9Cr1Mo 系鋼に Cu を 2~3% 加えると著しく焼入れ性と靱性が向上し、炉冷焼戻しでも高いクリープ破断強度を示し、9Cr1Mo2Cu Nb V W 鋼は炉冷焼戻でも 600~625°C において 18Cr 8 Ni 鋼に匹敵するクリープ破断強度を示した。

文 献

- 1) G. A. MELLOR, et al.: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), (1960), p. 464
- 2) M. G. GEMMILL, et al.: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), (1956), p. 122
- 3) O. L. BIHET: Bull. Sci. de l'Association des ingrs electriciens 75 (1962), p. 397
- 4) M. CAUBO: ASME paper No. 63-WA-246 (1963)
- 5) 佐々木: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1557