

Cr 含有低合金鋼の高温性質におよぼす Nb, Mo 添加の影響について*

(Cr 含有低合金鋼における Nb, Mo 添加の影響について—Ⅱ)

富士製鉄, 中央研究所

工博 村木潤次郎・橋本勝邦・関口 進

On the Effect of Nb and Mo Additions to Cr Bearing Steels on High Temperature Properties

(On the effect of Nb and Mo addition to Cr bearing steels—Ⅱ)

Dr. Junjiro MURAKI, Katsukuni HASHIMOTO and Susumu SERIGUCHI

1. 緒 言

Cr 含有鋼に Nb, Mo を添加することによつて常温の強度は著しく向上するが, この効果が高温特性 (クリープ破断強度) にどのように影響するかを調べた。未析出の Nb 化合物が高温長時間加熱中に析出して耐クリープ性を増加させる点に特徴があるかと想像していたが,

常温の切欠靱性を向上させるために焼準処理を併せて行なつたため, この場合は上記の効果は失なわれる可能性がある。したがつて鍛造のままのものと焼準材相互の比較も行なつている。

2. 実験経過

供試材は第 1 報にのべたとおりである。クリープ破断試験は, 1.5 t シングル型試験機を用いて 6 mm φ, 30 mm G.L. の試験片で 550°C および 600°C の 2 温度で行なつた。なお焼準材との比較は 600°C で S₁, S₂, S₅, S₆, S₇, S₈ の 6 鋼種について行なつた。応力水準は, 1 温度につき 3 点から 5 点 (1000hr 破断強度を内挿し, 10000hr 破断強度を外挿できるように) 選んだ。Table 1, 2 は試験結果より内外挿した破断強度, および相互比較のため A, B, C 3 種類の劣化係数を算出したものを挙げた。

$$A = \frac{\log \sigma_{100h}}{\log \sigma_{1000h}} \left(\begin{array}{l} \sigma_{100h} \dots \dots 100hr \text{ の破断強度} \\ \sigma_{1000h} \dots \dots 1000hr \text{ の破断強度} \end{array} \right)$$

$$B = \frac{\log \sigma_{100h}(550^\circ\text{C})}{\log \sigma_{100h}(600^\circ\text{C})}$$

$$\left(\begin{array}{l} \sigma_{100h}(550^\circ\text{C}) \dots \dots 550^\circ\text{C} \text{ の } 100hr \text{ 破断強度} \\ \sigma_{100h}(600^\circ\text{C}) \dots \dots 600^\circ\text{C} \text{ の } 100hr \text{ 破断強度} \end{array} \right)$$

Table 1. Experimental results of creep rupture tests. (Specimen as forged)

	Temp. ° (°C)	Stress for rupture in			Deterioration coeff.		
		100 hr (kg/mm ²)	1000 hr (kg/mm ²)	10000 hr (kg/mm ²)	A	B	C
S-1	550	17.1	10.1	6.0	1.225	1.258	1.329
	600	9.5	5.7	3.3	1.288		
S-2	550	25.4	17.8	11.0	1.123	1.186	1.291
	600	15.3	9.3	5.3	1.223		
S-3	550	22.0	15.5	10.5	1.128	1.197	1.217
	600	14.2	9.5	5.1	1.179		
S-4	550	26.0	17.1	11.1	1.148	1.197	1.255
	600	15.2	9.6	5.2	1.203		
S-5	550	29.0	19.8	12.5	1.128	1.146	1.286
	600	18.9	10.2	6.1	1.266		
S-6	550	40.0	25.0	15.8	1.149	1.204	1.244
	600	21.4	13.3	8.0	1.184		
S-7	550	46.0	33.1	23.0	1.094	1.149	1.211
	600	28.0	18.0	9.0	1.153		
S-8	550	52.0	38.0	21.0	1.086	1.173	1.235
	600	29.0	19.0	10.4	1.144		
S-9	550	18.5	13.5	9.6	1.121	1.174	1.252
	600	12.0	8.0	5.5	1.195		
S-10	550	17.2	12.4	—	1.130	1.225	1.241
	600	10.2	7.6	—	1.145		
S-11	550	16.0	11.6	—	1.131	1.204	1.264
	600	10.0	7.5	—	1.143		

* 第72回講演大会にて発表 講演番号 243 昭和41年11月10日受付

Table 2. Experimental results of creep tests.
(Specimen normalized)

	Temp. (°C)	Stress for rupture in			Deterioration coeff.		
		100hr (kg/mm ²)	1000hr (kg/mm ²)	10000hr (kg/mm ²)	A	B	C
S-1	600	9.3	6.0	—	1.245	—	—
S-2	600	9.4	—	—	—	—	—
S-5	600	11.3	7.2	—	1.228	—	—
S-6	600	13.2	9.0	—	1.174	—	—
S-7	600	13.1	9.2	—	1.159	—	—
S-8	600	15.1	10.1	—	1.174	—	—

$$C = \frac{\log \sigma_{1000h}(550^\circ\text{C})}{\log \sigma_{1000h}(600^\circ\text{C})}$$

($\sigma_{1000h}(550^\circ\text{C})$...550°C の 1000hr 破断強度)
($\sigma_{1000h}(600^\circ\text{C})$...600°C の 1000hr 破断強度)

A は時間に対する劣化傾向を示し, B, C は温度上昇に対する劣化傾向を示すものと考えて設定したもので, これら全部の劣化係数によつて総合的判断を下した.

Table 1 は鍛造のままについての結果であるが, 各温度の各破断強度についてみてもいずれも基本系の S₁ が最も低く, Nb 添加によつて向上し, さらに Nb-Mo 複合添加鋼, たとえば, S₈ (0.5%Mo-Nb), S₇, S₆ (0.25%Mo-Nb) などが高い値を示している. 一方このときの破断伸びは 1000hr 破断で判定してみると, 基本系では 550°C, 600°C いずれも 40% 前後, Nb 単独添加では 550°C, 600°C とともに 10~20%, Mo-Nb 複合添加では 550°C で 10% 以下, 600°C でも 20% 弱で強度と逆の関係を示した. また先に述べた劣化係数から見て S₈, S₇, S₆ などの Mo-Nb 複合添加鋼がクリープ特性の点では最も優れていることが分り, Nb 単独添加鋼について見てみると, 破断強度が高い S₅ の係数 A が大きく, 破断強度の低い S₃ の係数 A が小さいため高温長時間 (600°C, 10000hr 付近) で 1 点に集まる傾向を示していることに特徴がある. Table 2 は焼準材の結果である. 予想していたとおり, 基本系はほとんど変化がないが Nb 添加鋼は破断強度が低下し, 鍛造のままの場合に比べ 1000hr 破断強度で 2~10 kg/mm² の低下が認められ, Nb 単独添加鋼の場合はほとんど基本系の強度に近いところまで下つている. このようにして焼準処理によつて, その破断強度の値そのものは鍛造のままの場合に比べてかなり低下するが, 劣化係数 A について見ればほとんど変化がなく, 強いていえばクリープ特性に対しては Nb 添加の効果がなお若干残つていると考えてもよさそうである. 一方破断伸びは著しく向上し, 1000hr 以上の破断でもすべて 20% 以上の値を示している.

以上の結果から 1000hr 破断強度におよぼす Nb あるいは Mo 添加の量的影響として整理したものが Fig. 1, 2 である. Fig. 1 は破断強度と Nb 量の関係を示すもので, 鍛造のままについては 550°C, 600°C とともに 0.01% までに急激に上昇し, それ以上ではあまり著しい向上はない. 第 1 報でも述べたごとく, C 量の影響とおもわれる 550°C の 0.026% Nb の場合の強度低下は, 600°C では消失している. このことは先に述べたように A, B などの係数が小さいためであり, C 量で常温強度を向上

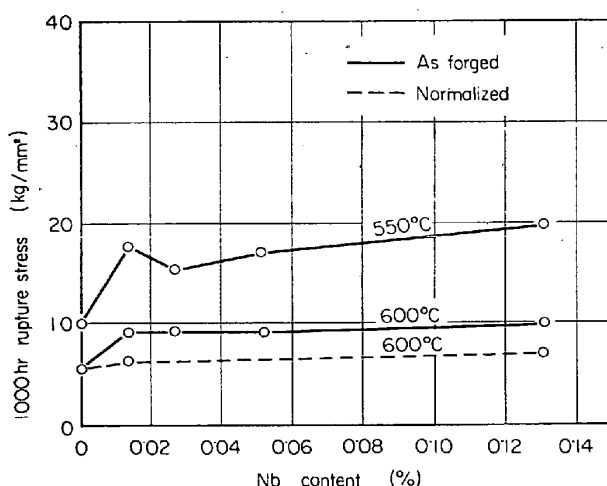


Fig. 1. Effect of Nb content on creep rupture stress. (1000 hr rupture stress)

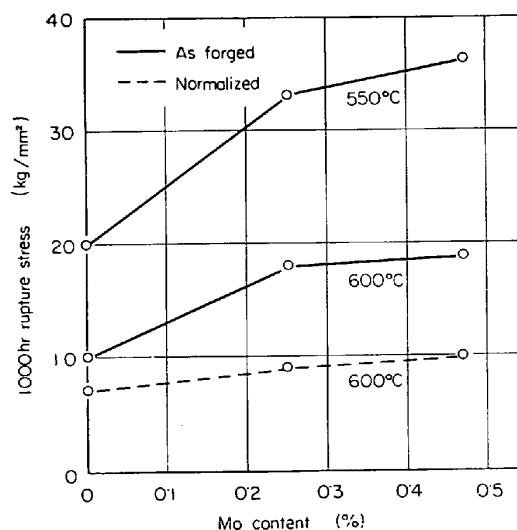


Fig. 2. Effect of Mo content on creep rupture stress. (1000 hr rupture stress)

させても高温の長時間強度にはあまり影響しないという周知の事実と一致している¹⁾. 破線は焼準処理材の結果である. 鍛造材に比べるとかなり強度が低下するが Nb 量の増加につれてわずかに向上している. Fig. 2 は 0.1% Nb を含む鋼に対する破断強度と Mo 量との関係で, 鍛造のままでも焼準材でも常温の強度同様添加量に伴つて強度上昇がみられ, 特に 0.2~0.3% まで著しい強化が認められる. しかし, 鍛造のままの強度上昇率は焼準材に比べ, かなり大きい. 元来, 高温強度に対する組織の影響は常温強度に対するよりも少ないという考えに立てば, 焼準材と鍛造材との破断強度の差は, 単純に Mo 量のみによつて生ずる差と考えるべきでなく, Nb-Mo の複合析出効果によるものと見るべきであろう. これについては 0.5% Mo 含有鋼について, 焼入焼戻した鋼材と焼準した鋼材の 600°C 破断強度がほとんど同じであつたというわれわれの実験事実²⁾からも推測できることである.

3. 結 言

Cr 含有鋼に Nb を単独添加した場合, 鍛造のまま

は 0.01~0.02% で 550°C および 600°C の 1000hr クリープ破断強度が 40~50% 上昇し、さらに Mo 0.3~0.4% 添加で 2¹/₄ Cr-1.0Mo 鋼の高温強度に匹敵するほどに向上する。しかし、これらの効果は焼準処理によつて若干残るがその大半は失なわれてしまうので、常温の機械的性質、特に切欠靱性を考慮する場合には、Nb の析出硬化作用と良好な切欠靱性が共存するような熱処理組成の検討が必要であろうと考えられる。

文 献

- 1) 例えば A.S.T.M. S.T.P. No. 180
- 2) 村木, 橋本: 富士製鉄技報, 11 (1962) 3, p.281
村木, 橋本: 未発表

各種ステンレス鋼および耐熱鋼の高温における腐食と土砂摩耗について*

山陽特殊製鋼

工博 結城 晋・梶川和男・藤田尚徳
On Corrosion and Sand Abrasion of Stainless and Heat Resisting Steels at High Temperature

Dr. Susumu YŪKI, Kazuo KAZIKAWA and Hisanori FUZITA

1. 緒 言

近年、重油専焼による金属材料の腐食障害が問題となっている。

このため、腐食軽減策として、重油中の有害成分の除去、腐食抑制剤の添加さらに材料面の研究が多数なされているが、現段階では経済的に有利な結果は得られてないようである。

本報では、かような条件下で使用する材質選定の基礎資料とするため、各種ステンレス鋼および高Cr-Si-Al耐熱鋼について、重油燃焼による腐食実験ならびにVアタック実験を行ない鋼種間の比較を行なつた。また、重油

燃焼にはエロージョン現象を伴うため、1つの手段として砂を使用し高温における土砂摩耗試験も行なつた。

2. 供 試 材

実験試料として、ステンレス鋼を7鋼種、フェライト系の高Cr-Si-Al耐熱鋼を3鋼種選んだ。これらはすべて高周波誘導炉にて溶製した25kg鋼塊を25mmφと40mmφに鍛伸してから焼鈍したものをを用いた。Table 1に供試材の化学成分を示す。

3. 実 験 方 法

3.1 重油燃焼による腐食実験

実験に使用した重油炉は、1hr当たりの重油燃焼量は4~8lに加減することができ、加熱室の温度は800~1100°Cに操作できるように設計したものである。なお、この炉の内容積は、250(縦)×600(横)×550(高)mmである。

加熱条件はB重油を使用し、850°C±50°Cの温度で連続50hrの加熱を行なつた。試料数は各鋼種3個とし試料(15×25×10mm)表面はエメリー紙240番で仕上げた。

実験時、オルザット分析装置を用いて、試料直上の炉内ガス成分を分析した結果、Table 2に示したように加熱状態は適正であつた。

以上の条件で加熱後、Na₂CO₃ 40%+NaOH 60%の溶融塩にてデスケールを行ない、重量減(mg/cm²・hr)によつて腐食量の評価を行なつた。

3.2 Vアタック実験

試料形状、表面仕上げ状態および試料数はいずれも重油燃焼実験に用いたものと同じで、試料表面に市販の特級V₂O₅粉末(V₂O₅ 99.5%, Fe 0.008%, 硫酸塩 0.01%)を塗布し、電気炉にて800°C×50hrの加熱条件を与え腐食作用を調べた。

V₂O₅の塗布量は予備実験の結果、10mg/cm²以上では各鋼種とも腐食量の変化は認められなかつたので、すべての試料にたいし10mg/cm²塗布した。腐食量の評価は溶融塩(Na₂CO₃40%+NaOH60%)にてデスケ

Table 1. Chemical compositions of specimens (wt%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Others
AI SI 202	0.065	0.92	8.60	0.044	0.013	5.45	17.33	0.03	N 0.12
// 304	0.048	0.61	1.65	0.025	0.018	10.00	18.85	0.05	—
// 316	0.046	0.63	1.62	0.021	0.019	13.20	17.75	2.25	—
// 309	0.040	0.96	1.88	0.021	0.020	12.90	24.00	0.04	—
// 310	0.043	1.41	1.97	0.019	0.021	20.30	25.40	0.04	—
// 430	0.059	0.34	0.76	0.016	0.026	0.16	17.12	0.02	—
// 420	0.12	0.49	0.88	0.014	0.025	0.14	13.46	0.04	—
X 10 CrAl 13	0.055	0.89	1.00	0.012	0.024	0.12	12.79	0.05	Al 1.18
X 10 CrAl 18	0.057	1.13	0.93	0.015	0.027	0.15	17.76	0.02	Al 1.06
X 10 CrAl 24	0.057	1.28	0.81	0.016	0.024	0.14	24.30	0.01	Al 1.40

Table 2. Combustion gas compositions.

CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (%)	N ₂ (%)	Excess air factor
12.4~13.2	2.3~4.1	0	83.5~84.5	1.11~1.23

* 第73回講演大会にて発表 講演番号 163 昭和42年6月5日受付