

Fig. 1 の F, G は細粒, A, B は粗粒, 他の 3 charge は混粒で細粒のものはクリープ強度が低く粗粒のものはクリープ特性が良好である。

IV. 粗粒鋼細粒鋼のクリープ特性の熱処理による変化

低炭素鋼の場合クリープ劣化を起している鋼を 1200°C で焼鈍すればその特性は改善され粗粒鋼と同様なクリープ特性をもつことが明らかにされているが, これと同様な現象が Cr-Mo 鋼の場合にもあるかどうかを試験するため, 前項の試験でクリープ特性の良好と認められた鋼 A と, もつとも大きなクリープ歪を示した鋼 F から 900~1200°C で完全焼鈍した試験片をつくり前項と同様なクリープ試験を行った。

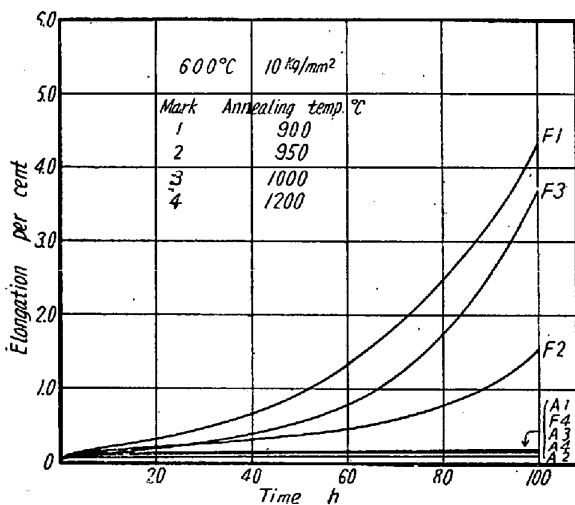


Fig. 3. Creep curves of specimens with various annealing temperature.

Fig. 3 に 600°C, 10 kg/mm² の試験条件におけるクリープ曲線を示した。粗粒鋼 A では熱処理に関係なく 0.2% 前後のクリープ歪を生じているが細粒鋼 F では 1000°C 以下で焼鈍したものが数%のクリープ歪を生じているのに対して 1200°C で焼鈍したものは鋼 A と同様なクリープ曲線を示す処まで改善されている。

他の温度における試験結果もこれとほぼ同様で鋼 F のクリープ曲線は焼鈍温度の上昇とともに次第にクリープ歪が小さくなり 1200°C で焼鈍したものは鋼 A とほぼ同様なクリープ曲線を示している。このことは低炭素鋼の場合と同様熱処理により固溶析出する AlN あるいはこれと関係して変化する鋼中に固溶している窒素がこの現象を支配していることを示すものと考えられる。

V. 結 言

1 Cr 0.5 Mo 鋼で脱酸 Al 添加量をかえた 8 charge について 450~700°C で 100 h のクリープ試験を行い Cr-Mo 鋼においても Al の多量添加によるクリープ特

性の劣化が起るとくに定常クリープの優勢になる 550°C 以上において顕著にあらわれることを明らかにした。

この現象は鋼中の可溶 Al の量および McQuaid-Ehn 粒度と密接な関係を示している。

クリープ特性の良好な粗粒鋼と劣化の顕著な細粒鋼について 900~1200°C で焼鈍した試験片についてクリープ試験を行い粗粒鋼のクリープ特性は熱処理温度によりほとんど変化せず常に良好であるが劣化鋼のそれは焼鈍温度の上昇とともに改善され 1200°C で焼鈍したものは粗粒鋼と同程度のものであることがわかった。このことはこの現象が可溶 Al の量でなく熱処理により固溶析出する AlN あるいはこれと関係して変化する鋼中に固溶している窒素 active nitrogen に支配されていることを示すものと考えられる。

(文献省略)

(74) 12% Cr 耐熱鋼の研究 IV)

(12% Cr 耐熱鋼における B, N 添加のクリープ強度およびラプチャー強度におよぼす影響)

Studies on 12 Percent Chromium Heat-Resisting Steels (IV)

(Effect of Boron and Nitrogen on Creep Strength and Rupture Strength in 12 percent Chromium Heat-Resisting Steels)

T. Fujita, et alii.

東大教授 工博 芥 川 武

東大助教授 工〇藤 田 利 夫

東大大学院学生 工 清 水 貞 一

I. 緒 言

筆者らは第 1, 2, 3 報において, 12% Cr 耐熱鋼におよぼす Mo, W, V, Nb, Ti, B, N 等の複合元素の影響をしらべ, つぎの成分を有するものが最も強力であることをのべた。

すなわち C 0.16%, Mn 0.69%, Si 0.50%, Cr 11.76%, Mo 0.79%, V 0.20%, Nb 0.17% である。

さらに B および N は合金元素としてすぐれた性質を有するため, 本報は上述の成分を有する 12% Cr 耐熱鋼に 0.01%, 0.04%, 0.10% の B および N を単独に添加して, これらの 620°C ~ 650°C 附近のクリープ強度, ラプチャー強度, 焼戻硬度等をしらべた。

これらの結果から 現在諸外国で発表されている Jessop H46, Rex 448 より はるかに強力な新型 12% Cr 耐熱鋼を発見することができた。さらに現在 N+B の

Table 1. Chemical compositions of samples.

Sample No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Nb	B	N
K143	0.16	0.50	0.69	0.13	11.76	0.79	0.20	0.16	0.17	—	—
M-1	0.17	0.32	0.41	0.04	10.96	0.95	—	0.05	—	—	—
B-1	0.15	0.51	0.33	0.03	9.28	0.93	0.21	0.05	0.23	0.014	—
B-2	0.14	0.39	0.29	0.08	11.89	0.98	0.20	0.08	0.25	0.048	—
B-3	0.15	0.45	0.31	0.06	10.97	0.87	0.18	0.07	0.21	0.095	—
N-1	0.14	0.29	0.29	0.07	11.10	0.86	0.20	0.10	0.21	—	0.018
N-2	0.16	0.36	0.28	0.07	11.56	0.92	0.20	0.05	0.20	—	0.044
N-3	0.16	0.28	0.25	0.08	11.36	0.86	0.20	0.05	0.18	—	0.113

影響についても研究をすすめている。これらの結果から 650°C, 1000 h のラプチャー強度は, Timken 16-25-6, 19-9DL と同等またはそれ以上であることが判明した。

II. 試料

Table 1 に使用した試料の化学組成を示す。これらの試料は高周波電気炉にて 4~5 kg 熔解し 25 mmφ の丸棒に鍛造した。

III. 実験結果

(1) クリープおよびラプチャー強度

Table 1 の試料につき 620°C, 650°C のクリープ試験およびラプチャー試験を行つた結果を Table 2 に示す。

熱処理 A, [1150°C × ½ h → O. Q., 700°C × 1 h → A. C.] を行つた試料に対し 620°C, 16 kg/mm², 1000 h, 650°C, 12 kg/mm², 1000 h の 2 種類のクリープ試験を行い, さらに 650°C, 20 kg/mm² のラプチャー試験を行つた。また熱処理 B [1250°C × ½ h → O. Q., 700°C × 1 h → A. C.] を行つた試料に対しても 650°C, 24 kg/mm² のラプチャー試験を行つた。これらの実験結果はつぎのごとくである。

B 添加の場合: この場合は一般に長時間 (数千時間程

度) のクリープ強度を高めることができるが, 短時間 (100 h 程度) のクリープ強度はかえつて低下する。

B を 0.01% 程度添加しても, あまりクリープ強度およびラプチャー強度は向上しないが, 0.04~0.10% 程度 B を添加することによりかなり, クリープ強度およびラプチャー強度は向上する。

B を添加したものは焼入温度を 1150°C から 1250°C まで高めてもあまりラプチャー強度はよくなる。これは硼化合物が比較的低温 (1150°C 程度) で十分固溶することを示す。

これらの実験結果から考えて B 添加は 0.03~0.05% 程度が最も適度であると考えられる。B を 0.10% 以上添加したものは鍛造性がかなり困難となり, 実用性に乏しい。また焼入温度は 1150°C 程度で十分である。

N 添加の場合: この場合, N を 0.1% 程度添加すると 620°C 附近では, 短時間 (100 h 程度) のクリープ強度およびラプチャー強度はそれほど低下しないが, 1000 h 以上のクリープ強度およびラプチャー強度はかえつて低下する。さらに試験温度が 650°C 附近になると短時間 (100 h 程度) のクリープ強度およびラプチャー強度でもかなり低下する。

Table 2. Creep and rupture properties of 12 percent chromium heat-resisting steels.

Sample No.	Heat treatment A 1150°C × ½ h → O. Q., 700°C × 1 h → A. C.				Heat treatment B 1250°C × ½ h → O. Q., 700°C × 1 h → A. C.			
	620°C and 16kg/mm ² in total strain %		650°C and 12kg/mm ² in total strain %		Rupture time (h) and rupture elongation (%), 650°C, and 20kg/mm ²		Rupture time (h) and rupture elongation (%), 650°C, and 24 kg/mm ²	
	at 300h	at 1000h	at 300h	at 1000h	Rupture time (h)	Rupture elongation (%)	Rupture time (h)	Rupture elongation (%)
M-1	Rupture at 300 h	—	Rupture at 204 h	—	7.6	28.0	—	—
K143	0.280	0.560	0.300	0.420	—	—	—	—
B-1	0.336	0.474	0.410	1.625	165.0	18.0	—	—
B-2	0.301	0.404	0.278	0.370	543.0	6.0	375.6	3.3
B-3	0.276	0.341	0.286	0.388	619.0	6.3	325.0	5.0
N-1	0.280	0.344	0.230	0.324	1194.5	14.5	730.5	4.0
N-2	0.230	0.290	0.229	0.342	515.5	17.0	843.5	4.0
N-3	0.290	0.468	0.416	2.640	143.0	9.0	329.0	2.6

Table 3. Tempering hardness of 12 percent chromium heat-resisting steel.

Sample No.	1150°C×½h→O.Q. 700°C×1h→A.C. 620°C temper					1150°C×½h→O.Q. 700°C×1h→A.C. 650°C temper					1250°C×½h→O.Q. 700°C×1h→A.C. 650°C temper				
	0 h	20 h	300 h	1000 h	2000 h	0 h	20 h	300 h	1000 h	2000 h	0 h	20 h	300 h	1000 h	2000 h
M-1	261	253	253	250	248	259	250	251	239	245	258	251	246	249	249
K 143	315	309	304	290	280	315	311	306	279	253	325	315	310	290	255
B-1	307	307	302	294	296	312	298	289	270	258	333	299	293	283	280
B-2	311	309	314	301	305	317	303	306	306	303	304	296	300	279	283
B-3	299	307	310	304	316	311	298	306	302	313	309	309	311	298	303
N-1	314	305	308	293	293	316	304	302	290	279	330	311	305	293	295
N-2	317	310	318	306	303	318	310	311	291	276	343	319	323	297	286
N-3	316	307	300	290	272	314	306	295	267	253	348	326	322	274	249

しかし、Nを0.01%~0.04%程度にした場合は620°C~650°C 附近においてクリープ強度およびラプチャー強度をいちじるしく強化せしめる。しかもNを添加したものは、焼入温度を1250°C程度に高めることによりかなりラプチャー強度を高めることができる。これは窒化物が他の炭化物や硼化物と比較して地鉄中に固溶しがたいためと考える。したがって12% Cr 耐熱鋼に0.01~0.04% 程度のNを添加することは620°C~650°C 附近の高温強度をいちじるしく強化せしめるものである。

とくに注目すべき点は0.044% Nを添加した試料(N-2)は1250°Cから焼入することにより650°Cのラプチャー強度をオーステナイ系の代表的(鉄基)耐熱鋼として有名なTimken 16-25-6と同程度であることである。

(2) 焼戻硬度

クリープ試験片とおなじ熱処理をほどこした試料をクリープ試験温度とおなじ温度で焼戻を行ないクリープ試験期間中にどの程度焼戻軟化されるかをしらべた。この結果の一部をTable 3に示す。

B添加の場合: B 4 0.04~0.10% 程度添加した試料は620°C~650°C 附近で1000~2000 h程度焼戻を行っても、硬度の低下はあまり認められない。したがってBは焼戻軟化抵抗を高める合金元素であることがわかる。Bを添加しない試料(K143)は500 hから2000 h程度にかけて硬度の低下がいちじるしい。

Nを添加した場合: Nを0.1% 添加した試料は620°C~650°C 附近で500 h程度から硬度の低下がはなはだしい。これはクリープ強度およびラプチャー強度が500 h程度からいちじるしく低下する点とよく一致している。しかし0.01%~0.04% 程度Nを添加することは620°C~650°C 附近の焼戻軟化抵抗をいちじるしく高める。

IV. 結 言

以上の実験結果を要約するとつぎのごとくなる。

(1) 12% Cr 耐熱鋼にB, およびNを単独に0.01%, 0.04%, 0.10% 添加し, これらの試料につき620°C, 650°Cのクリープ試験, ラプチャー試験を行った。

(2) 12% Cr 耐熱鋼にBを添加することにより長時間(数千時間)のクリープ強度およびラプチャー強度をいちじるしく高めることができる。添加するBの適量は0.03~0.04% 程度である。

(3) 12% Cr 耐熱鋼に0.01~0.04% 程度のNを添加すると620°C~650°C のクリープ強度およびラプチャー強度をいちじるしく強化することができる。ただし0.1% 程度のNを添加すると600°C 附近の高温強度はそれほど悪くならないが650°C 附近の高温強度はいちじるしく低下する。

(4) 12% Cr 耐熱鋼にBを添加した場合は数千時間620~650°C 附近で焼戻を行っても硬度の低下は起らない。

(5) 12% Cr 耐熱鋼にNを添加した場合は0.01~0.04%程度のNを添加したものは620~650°C 附近で長時間焼戻を行っても硬度の低下は起らないが, 0.1% 程度Nを添加したものは, 650°C 附近で長時間焼戻される場合硬度の低下がいちじるしい。

(6) これらの実験から12% Cr 耐熱鋼に添加されるべきBの適量は0.03~0.04%, Nの適量は0.02~0.04%程度である。

(文献省略)